

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

Конспект лекцій з навчальної дисципліни  
**СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ І РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЇ**

для студентів спеціальності  
172 – Телекомунікації та радіотехніка

*Ухвалено Вченою радою ІФТКН  
(протокол № 11 від 30. 12. 2022 р.)*

Чернівці  
2022

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Системи комутації і розподілу інформації» для студентів всіх форм навчання спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», ННІФТКН ЧНУ / Уклад.: Вікторівська Ю.Ю. – Чернівці: ЧНУ. – 2022. – 226 с.

Навчальне видання  
Конспект лекцій з навчальної дисципліни  
**СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ І РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЇ**

Укладач: *Вікторівська Ю.Ю., канд. фіз-мат. наук, доц.*

## **Зміст**

Тема 1. Основні визначення системи комутації

Тема 2. Принципи побудови комунікаційних блоків

Тема 3. ТМЗК

Тема 4. Основи теорії телетрафіку

Тема 5 Принципи цифрових систем комутації

Тема 6. Принципи синхронної цифрової комутації.

Тема 7. Принципи побудови цифрових комутаційних полів

Тема 8. Стики цифрових АТС

Тема 9. Управління та сигналізація цифрових АТС

## **Л.1. Поняття телекомунікації. Еволюція телефонних станцій та автоматичної комутації. Класифікація АТС.**

### **1. Поняття «Телекомунікації»**

Англійське дієслово to communicate (повідомляти, передавати ...) про виходить від латинського слова communico, що означає «робити загальним», «спілкуватися», «зв'язувати». Англійське іменник communication перекладається як «зв'язок» (в найрізноманітніших значеннях), а в множині (з «s» на кінці) означає систему засобів сполучення або спілкування, яка є, взагалі кажучи, технічним терміном (сьогодні часто зустрічаються такі вирази, як «політичні комунікації», «бізнес комунікації» і т. п.). Слово телекомунікації (telecommunications) означає засоби спілкування (тобто обміну інформацією) на відстані і визначають сукупність технологій, що реалізують різні способи такого спілкування.

Поняття, що позначаються термінами телефонія і телекомунікації, іноді плутають. Перший термін спочатку використовувався для систем електрозв'язку, орієнтованим на передачу мовної інформації в реальному часі, а другий – до інших систем електрозв'язку (включаючи і ті, які базуються на телефонних системах), що використовуються для обміну дискретною інформацією (даними) - в тому числі між комп'ютерними системами.

Сукупність пристроїв і споруд, що забезпечують телефонний зв'язок на деякій території, називають телефонною мережею. До складу такої мережі входять:

- 1) Комутаційні пристрої (автоматичні телефонні станції, вузлові станції, підстанції, концентратори і мультиплексори);
- 2) Лінійні споруди (абонентські і сполучні лінії, канали міжміського і міжнародного зв'язку);
- 3) Цивільні споруди (будівлі телефонних станцій, підсилювальних пунктів);
- 4) Кінцеві пристрої (телефонні апарати та пульти операторів.)



В процесі еволюції телефонна мережа стала складовою частиною потужної інфраструктури цифрових телекомунікацій, в якій мова – лише один з типів переданих даних. Це і внесло деяку плутанину, тому що телефонна мережа може розглядатися як мережа телекомунікацій, що підтримує телефонію, а телекомунікаційна мережа – як телефонна мережа, забезпечена засобами підтримки обміну мультимедійною інформацією. Таким чином, телефон є одним з видів телекомунікацій.

## **2. Еволюція телефонних станцій**

### **2.1 Історичні передумови**

Розвиток засобів зв'язку почався з сигнальних багать і дерев'яних барабанів і продовжилося винаходами голубиної пошти, фельд'єгерського зв'язку, оптичного телеграфу Шаппа та інших засобів, що залишилися елементами «сумарних технологій» свого часу і важливими аспектами в історії цивілізації в цілому.

У південних регіонах Росії до цього часу збереглися старовинні кургани, з вершин яких подавалися світлові сигнали. Вдень, коли вогонь було видно гірше, сигналом служив стовп диму, для чого сторожовим постам, розташованим на південних кордонах, пропонувалося підкидати в багаття сирі гілки. Точно так само у 1658 р повідомлення про появу біля берегів Англії іспанського флоту було передано з півдня Англії на північ за допомогою заздалегідь підготовлених багать. Спеціальні вишки, на яких завжди лежала купа дрів або соломи, будували і в Запорізькій Січі: ланцюг таких вишок дозволяла передавати сигнали на значні відстані.

Крім оптичної сигналізації використовувалася і звукова. Рушниці звучать голосніше барабанів, тому в 1796 році звістка про початок коронації імператора Павла I було передано рушничними пострілами 3000 солдатів, розставлених на всьому шляху від Москви до Петербурга. Гармати стріляли ще голосніше, ніж рушниці, в зв'язку з чим, в 1838 р, повідомлення про відхід першого пароплава по новому каналу було надіслано з Буффало в Нью Йорк

за допомогою гарматних пострілів. Сигнал подолав відстань в 700 км і вступив до Нью Йорк через 1 год. 20 хв.

Уже наприкінці XVIII століття, після дослідів Гальвані і Вольта, що поклали практичний початок науці про електрику, почалися роботи, націлені на створення електричних засобів зв'язку. Перші такі роботи стосувалися передачі телеграфних повідомлень. Найбільш примітивний спосіб телеграфії був заснований на тому, що дві телеграфні станції з'єднували між собою лініями зв'язку, число яких дорівнювало числу знаків алфавіту, і кожен провід служив для передачі одного певного знаку. На цьому принципі були побудовані електростатичний телеграф Маршала (Англія, 1753р.) і електрохімічний телеграф Земмерінга (Німеччина, 1809р.).

Для зменшення кількості проводів між станціями було потрібно знайти більш досконалі способи передачі даних, одним з яких з'явився рівномірний шестиелементний код, створений Павлом Львовичем Шилінгом. Більш досконалі системи телеграфування забезпечували отримання повідомлень у вигляді друкованого тексту. Перший літеродрукувальний апарат був винайдений Борисом Семеновичем Якобі, вони успішно працювали на підземній кабельній лінії між Зимовим Палацом і Головним Управлінням сполучних шляхів, потім – на кабельній лінії Петербург - Царське Село. Однак контракт на закупівлю винайдених раніше Якобі стрілочних синхронних апаратів, російський уряд Миколи I уклало з пруським бізнесменом Вернером фон Сіменсом.

Хто ж винайшов перший електричний телефон? Вперше слово «телефон» використовував Шарль Бурсель. Їм була розроблена побудована на властивостях електрики ідея телефонування, працювати над якою він почав ще в 1849-му році. Принцип дії був викладений їм в 1854-му році в дисертації, проте інженер-механік так і не дійшов до практичного застосування своїх ідей. Ідея телефонування з'явилася у Бурселя ще в 1849 році, тобто за одинадцять років до винаходу Антоніо Меуччі, за дванадцять років до дослідів Йоганна Філіпа Рейса і за двадцять сім років до подачі патентної заявки бізнесменом

Олександром Беллом. Таким чином, Шарля Бурселя в плагіаті запідозрити складно. За однією з версій, і слово «телефон» першим вжив теж він. У 1854 році, через п'ять після початку досліджень, в процесі яких проводилося безліч дослідів з використанням «джерела струму, мотка дроту і металевих пластинок», Бурсель опублікував дисертацію. У своїй роботі він вперше описав принцип дії телефону. В основі лежала ідея перетворення звукових коливань в електричний струм, а після передачі - назад. Бурселем запропонував перетворювати звук в коливання електричного струму за допомогою металевого диска, який би замикав контакти під впливом акустичних хвиль по аналогії з тим, як змикає контакти ключ телеграфу. По суті, французький інженер представив концептуально нову схему. Раніше схема виглядала просто: звукові коливання - середовище передачі - той же звук. А стала такою: звукові коливання - перетворення їх у струм – передача струму – перетворення його назад в звук.

Італійський винахідник і вчений Антоніо Меуччі в 1860-му році, переїхавши до США, проводив дослідження і винайшов апарат, здатний передавати звук по дротах. Меуччі назвав його телеграфоном. Незабаром про цю розробку маловідомого винахідника стало відомо компанії Western Union. Користуючись важким матеріальним становищем італійця-дослідника, ця компанія викупила у нього всі креслення і дала обіцянку надати допомогу при оформленні патенту. Однак другу обіцянку так і не було виконано. Меуччі подав власну заявку, намагаючись запатентувати телеграфон, але вона не була задоволена.

Перша спроба створити прилад для передачі звуків на відстань була зроблена Юганном Філіппом Рейсом в 1861 р. Саме він вперше ввів термін телефон і наочно продемонстрував можливість переносити наявні тони на відстань за допомогою електричного струму. Ця розробка, однак, не набула поширення в силу її технічної недосконалості. І лише 15 років потому, 14 лютого 1876 р Олександр Грехем Белл зареєстрував свій патент на винахід, який він назвав «Удосконалення в телеграфії».

Випускник фізико-математичного факультету Петербурзького університету Павло Михайлович Голубицький створив в своєму маєтку в селі Тарусса Калужської губернії вітчизняний прототип Bell Laboratories, де було зроблено чимало винаходів в телефонії і де за його малюнками виготовляли перші телефони та інші електричні прилади, включаючи знаменитий багатополосний телефон.

Величезні заслуги у впровадженні телефонії в російському військово – морському флоті в цьому, включаючи організацію вітчизняного виробництва телефонної апаратури і впровадження її на бойових кораблях флоту, належать морському офіцеру Євгену Вікторовичу Колбасьєва. Перша телефонна станція Колбасьєва складалася з трьох телефонів: два – у водолаза (з яких один використовувався як мікрофон) і один - у старшини команди на кораблі.

У 1881 році В.Б. Якобі винайшов мініатюрний телефон, який називався «телекаль» і представляв собою, по суті, вібраційний телефонний сигнальний прилад. Цей телефонний апарат з успіхом демонструвався в 1882 році на Другій Петербурзької електротехнічної виставці.

Не всі російські винаходи були зручні іноземним концесіонерам, які керували тоді. Міжнародна телефонна компанія Белла в 1881 році взяла на себе зобов'язання придбати право Р.Р. Вредена на мікрофон і впровадити його на телефонних станціях, що будувалися в Петербурзі і Москві, але, як виявилось згодом, метою фірми було не допустити своїм «зобов'язанням» поширення цього винаходу до закінчення терміну будівництва телефонних станцій. Відсталість і недалекоглядність аж ніяк не є властивостями виключно вітчизняних держструктур. Великі телекомунікаційні компанії у всьому світі грішили тим самим. Більш наочний приклад – реакція телекомунікаційного гіганта XIX століття компанії Western Union на пропозицію Белла і його тестя Гардінера Хаббарда придбати патент на телефон за 100 000 доларів. Одним з найбільш повчальних документів в історії телефонії є лист, написаний групою фахівців, які були уповноважені Western Union скласти висновок з приводу цієї пропозиції:

*15 листопада 1876 року Чаунс М. Денью*

*Президенту компанії Western Union Telegraph Co . Нью Йорк Сіті*

*Шановний містер Денью :*

*Наш комітет був утворений згідно з Вашим вказівкою для вирішення питання про при набутті патенту США 174.465 компанією Western Union Company . Містер Гардінер Г. Хаббард і містер А. Г. Белл, винахідник, продемонстрували нам свій пристрій, який вони називають "телефоном", і виклали свої плани його застосування.*

*Зазначений "телефон" призначений для передачі людської мови по телеграфним проводам. Ми виявили, що голос звучить дуже слабо і нерозбірливо, а при використанні довгих проводів між передавачем і приймачем звук стає ще слабший. З технічної точки зору ми не вважаємо, що цей пристрій коли – небудь зможе передавати зрозумілу мову на відстань в декілька миль.*

*Пани Хаббард і Белл хочуть встановити свої "телефони" практично в кожному будинку або діловому підприємстві нашого міста. Ця ідея абсурдна сама по собі. Більш того, з якого дива хтось захоче використовувати таке незграбний і непрактично пристрій, якщо він може відправити посильного на місцеву телеграфну станцію і передати звітти ясно написане повідомлення в будь-яке велике місто Сполучених Штатів?*

*Фахівці електрики нашої компанії на сьогодні вже розробили всі істотні поліпшення в області телеграфії, і ми не бачимо причин, за якими слід підтримати групу неспеціалістів з безглуздими і непрактичними ідеями, якщо у них немає ні найменшого уявлення про те, як вирішити порушені проблеми. Фінансові прогнози містера Г. Г. Хаббарда, хоча і звучать дуже заманливо, засновані на неприборканій уяві і на відсутності розуміння технічних і економічних аспектів існуючого положення; при цьому ігноруються технічні обмеження, властиві їх пристрою, який навряд чи може бути більш ніж іграшкою або лабораторної дивиною. Містер А. Г. Белл, винахідник, служить вчителем в школі для поганочуючих, і для його роботи "телефон", можливо,*

*має якесь значення, але при такій великій кількості недоліків не може серйозно вважатися засобом зв'язку.*

*У світлі викладених фактів ми вважаємо, що пропозиція містера Г.Г. Хаббарда про придбання його патенту за 100 000 доларів позбавлене здорового глузду, оскільки цей пристрій за своїми можливостями не представляє для нас ніякого інтересу.*

*Ми не рекомендуємо його купувати.*

Це легендарний лист Чаунс Депью є найбільшою і грубою помилкою у всій історії телекомунікаційного бізнесу.

У липні 1877 року утворилася компанія Bell Telephone Company з Гардінером Хаббардом в якості президента. Ця компанія виробляла телефони і продавала їх, а також право на їх використання. Перші комерційні апарати, запропоновані Bell Telephone Company, склалися з цільного шматка дерева (чорний горіх або червоне дерево) з елементом, який служив і передавачем, і приймачем. Джерелом енергії служив, переважно, постійний магніт, який перебував усередині пристрою, а не батарея або зовнішнє джерело електроживлення. Кожен телефонний апарат мав пряме з'єднання з іншим апаратом через приватну лінію, яку, зазвичай, телеграфісти здавали в оренду телефонній компанії. У перших рекламних оголошеннях користування двома телефонами і з'єднанувальною лінією пропонувалося за \$20 в рік для суспільних цілей і за \$40 в рік – для корпоративних; при цьому забезпечувалося безкоштовне техобслуговування.

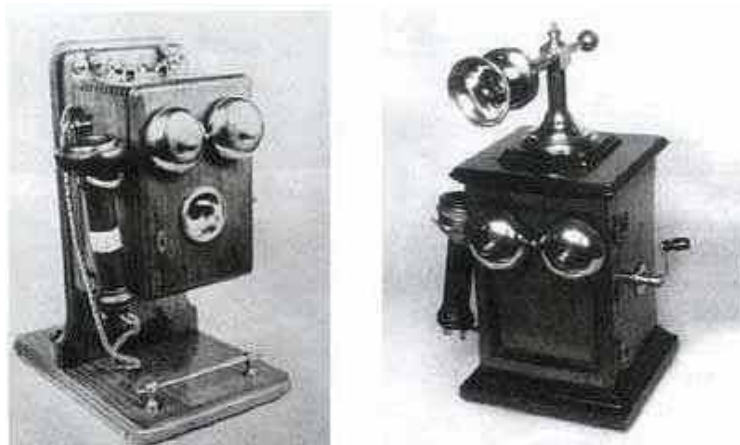


Рис.1. Перші телефони Bell Telephone Company

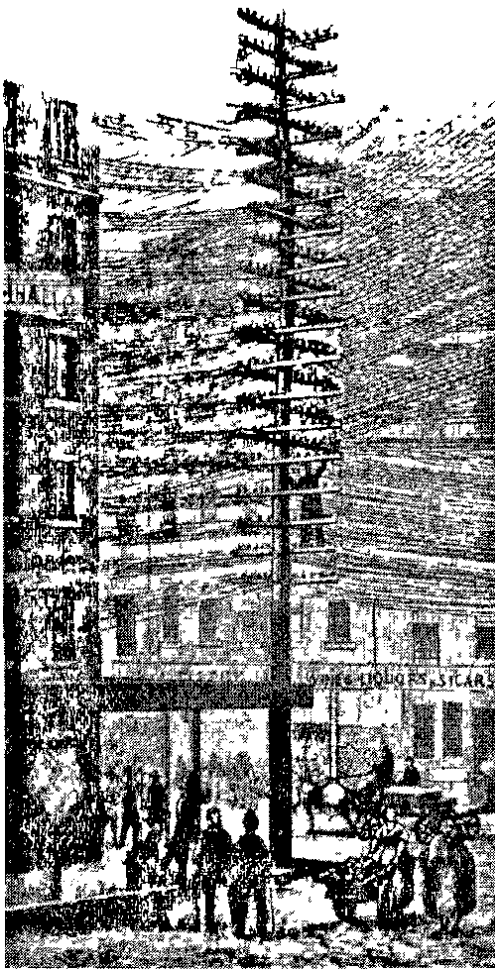


Рис. 2 Телефонна мережа до комутації каналів

Одним з клієнтів Bell Telephone була компанія New England Telephone Company, утворена в 1878 році. Першу комерційну телефонну станцію, про яку мова піде нижче, вона відкрила в Нью-Хевен. Тоді, до кінця 1877 року, у користуванні знаходилось понад 600 телефонів, а зростання популярності винаходи асоціювалося з кабінетами, заповненими телефонами, і зі стовпами, обвішаними проводами повітряних ліній зв'язку (рис.2).

У 1880 році компанії New England Telephone Company і Bell Telephone Company злилися і утворили American Bell Telephone Company, згодом – знамениту AT&T. Компанія Western Electric була в той час виробником електричного обладнання для Western Union і перебувала під її корпоративним управлінням.

У 1882 році American Bell таємно купила контрольний пакет акцій Western Electric. Цей маневр, який тоді не вважали грабіжницьким, забезпечив American Bell необхідні додаткові виробничі потужності і завдав Western Union нищівного удару, від якого вона фактично так ніколи і не оговталася. AT&T викупила Western Union в 1911 році. У 1908 році президентом AT&T став Теодор Вейл, а до 1911 року AT&T перетворилася в Bell System, корпоративна структура якої залишалася майже незмінною до розпаду компанії в 1984 році. У 1923 році AT&T створила Bell Telephone Laboratories в якості своєї дочірньої компанії, на яку покладалися дослідження і розробки.

Сьогодні всі сприймають, як саму собою зрозуміле, можливість зв'язатися по телефону з людьми, які є користувачами самих різних місцевих і міжміських мереж. Так було не завжди. До 1885 року в США існувало вже

понад 300 ліцензованих телефонних компаній, а телефону було всього лише дев'ять років. Починаючи з цього часу і по 1907 рік, людям часто доводилося мати два телефони: один для зв'язку з абонентами Bell Telephone Company, а другий – для зв'язку з людьми, що жили в місті, який обслуговувала інша телефонна компанія. Незалежні телефонні компанії і компанія Bell не "розмовляли» один з одним, між ними відсутня будь-яка взаємодія. У 1910 році компанія AT&T висунула стратегію взаємопов'язаної телефонного зв'язку, і з цієї стратегії виросла телефонна мережа загального користування. В обмін на надання компанією AT&T такого універсального обслуговування Федеральний уряд США надав їй монополію на телефонний зв'язок, яку потім неодноразово відбирало. Велика частина інших країн уникла цього незручного періоду і з самого початку створювала взаємопов'язані національні мережі, які, в свою чергу, об'єдналися у єдину всепланетну мережу зв'язку.

## 2.2 Ручні комутатори

Як це зазвичай бувало в історії техніки, рішення проблеми виявилось вельми простим і було знайдено в місті Нью-Хевен, Коннектикут, де в 1878 році була відкрита перша телефонна станція. Цей ручний комутатор коштував 28,5 доларів і обслуговував 21 абонента. Оператор комутатора прослуховував всі телефонні з'єднання, щоб визначити момент закінчення розмови.

Економічне обґрунтування застосування телефонних комутаторів пов'язане з неможливістю з'єднати всіх абонентів за принципом «кожен з кожним». У разі малого числа абонентів, скажімо  $N = 5$ , таке з'єднання цілком реально і зображено на рис.3а. Для того щоб уявити собі, скільки потрібно мати ліній в мережі з  $N = 10$  абонентами, досить поглянути на рис. 3б, який наочно ілюструє для цього випадку формулу  $N(N-1)/2$ .



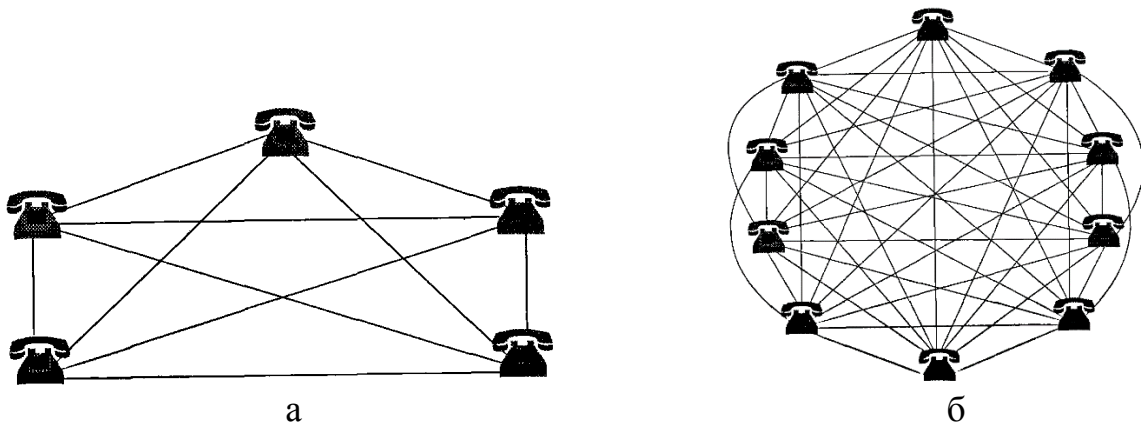


Рис. 3. З'єднання "кожен з кожним" для 5 абонентів (а) та 10 абонентів (б)

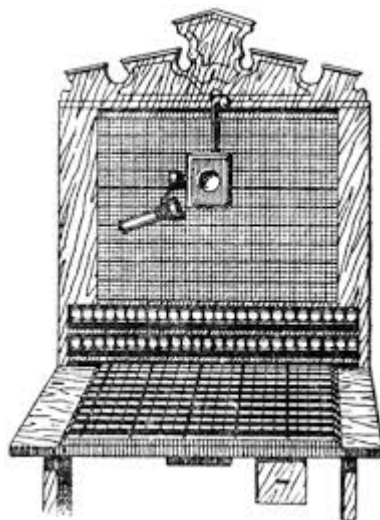
Можливість зв'язку будь-якої пари абонентів при значно меншій кількості з'єднувальних ліній в мережі забезпечили ручні комутатори (рис.4), кількість яких швидко збільшувалася, і хоча компанії Western Union, а не Bell належало спочатку більшість встановлених телефонів, мережа Bell System швидко розросталася за рахунок установки ручних телефонних станцій і незабаром випередила мережі Western.



Рис. 4 Ручна телефонна станція

Через 4 роки ручні міські телефонні станції почали діяти в Петербурзі, Москві, Одесі і Ризі. Згідно з першим проектом Петербурзької телефонної мережі представлену на рис.4 головну телефонну станцію. У Москві перша телефонна станція була побудована в 1882 р і розміщена на Кузнецькому мосту. У неї було включено всього лише 26 телефонних апаратів. На станціях були встановлені однопроводні комутатори Гілеланда (рис.5), обладнані сигнальними клапанами, індуктором для виклику абонентів, мікрофоном і

телефоном для переговорів оператора з абонентом або з іншого телефоністкою. Виклик станції абонентом відзначався відкриттям дверцят викличного клапану. При вставлянні штепселя в одне з гнізд відбувалося з'єднання між відповідними вертикальної і горизонтальної смугами. Другим були підключені лінії абонентів. У кожен такий комутатор, крім 50 абонентських ліній, могло бути включено до 90 з'єднувальних ліній для зв'язку з іншими комутаторами даної станції. Від кожного комутатора, через зроблені в стелі квадратні отвори, пучок з 50 ізолюваних провідників піднімався до башти, встановленої на даху будівлі телефонної станції. Спочатку для проводів використовували сталевий дріт діаметром 2.2 мм. Пізніше застосовували бронзовий (!) дріт діаметром 1.25 і 1.4 мм.



а



б

Рис. 5 Комутаторної дошка системи Гіллеланда (а), прототип Свердловського заводу (б)

Кожна лінія закінчувалася абонентським пунктом, що містив апарат МБ системи Белла з мікрофоном Блека, індуктор і дзвінок Гіллеланда і гальванічну батарею. Дуже повчальна інструкція користування першими телефонними апаратами:

*Абонентам надається можливість користуватися послугами телефонної станції з 8 години ранку до 11 години вечора.*

*При розмові по телефону, щоб співрозмовник краще вас розумів, підвищувати голос не потрібно, слова слід вимовляти чітко, не дуже сповільнюючи темп мови.*

*У стані спокою (відсутність зв'язку) телефонна трубка повинна висіти на гачку – тільки за цієї умови може бути приведений в дію викличний дзвінок.*

*В цілях швидкого і надійного обслуговування телефонна станція рекомендує абоненту дотримуватися наведених нижче вказівок.*

*1. Абонент «А» бажає розмовляти з абонентом «Б». Для цього «А», перш за все, викликає телефонну станцію, для чого протягом 2-3 сек натискає на кнопку, потім знімає трубку з гачка і прикладає її до вуха. Після відповіді «Станція слухає, що вам завгодно?» «А» просить з'єднати його з ... (називає ім'я абонента «Б»). Телефонна станція або говорить «Викликаю» і надає необхідне з'єднання, або повідомляє «Ваш абонент зайнятий, а коли він звільниться, вам зателефонують». В останньому випадку «А» відповідає, що він зрозумів телефоніста, і знову вішає трубку на гачок, де вона висить до наступного дзвінка. Коли дзвінок задзвонить, трубка знімається, знову прикладається до вуха, і абонент повідомляє телефонну станцію про свою готовність словами «Вас слухає ...». Телефонна станція повідомляє:*

*«Абонент ... вільний, викликайте». «А» викликає «Б» за допомогою повторного натискання кнопки, не забираючи при цьому трубки від вуха. Після того як «А» почує: «Б» слухає, хто говорить? », Він починає розмову словами: «Говорить «А». Кінець окремих повідомлень, фраз, питань і т.п. підкреслюється словами: «Будь ласка, відповідайте» або «Я закінчив». Про закінчення розмови «А» повідомляє станцію, натискаючи в останній раз на кнопку.*

*2. Викликають абонента «Б». Після того як задзвенів дзвінок, «Б» знімає телефонну трубку з гачка і, тримаючи її біля вуха, каже: «У телефону «Б», хто говорить?». Після цього «А» називає себе і починає розмову ».*

*Згодом кількість телефонів росла, і оператори з труднощами з'ясовували, хто є хто. Їм необхідно було знати напам'ять по прізвищах і іменах до*

декількох тисяч абонентів. У 1879 році одного лікаря прийшла думка використовувати в своєму офісі систему нумерації для ведення картотеки пацієнтів, після чого і місцева телефонна компанія стала використовувати номери замість імен абонентів.

Таким чином, на ручних телефонних станціях (РТС) дії, необхідні для встановлення з'єднання, були розподілені між абонентами і оператором. З переходом від системи МБ до ЦБ ці дії розподілилися наступним чином: абонент викликає станцію, знімаючи мікротелефонну трубку з важеля апарату. Після відповіді оператора абонент усно передає йому інформацію про потрібному абонента: називає його номер. В кінці зв'язку викликаючий абонент передає на станцію сигнал відбою, вішаючи мікротелефонну трубку на важіль апарату. Абонент, відповідаючи на виклик, знімає мікротелефонну трубку і цим дає на станцію сигнал відповіді. Закінчивши розмову, він кладе або вішає телефонний на важіль апарату, даючи цим сигнал відбою. На станції оператор підключається до лінії абонента, приймає від нього інформацію про номер абонента, що викликається, відшукує на комутаторі гніздо, в яке включена лінія цього абонента, перевіряє, чи не зайнята вона, підключається до лінії, якщо вона вільна, посилає виклик, з'єднує між собою лінії та абонентів, а після отримання від абонентів сигналу відбою проводить роз'єднання.

Коли абонент знімає слухавку з важеля свого телефонного апарату, біля гнізда, хоча б на одному з комутаторів загоряється сигнальна лампа. Оператор вводить штепсель на одному кінці комутаційного шнура в гніздо абонента А, під'єднує головний телефон і каже: «Номер, будь ласка». Абонент А повідомляє номер абонента Б оператору, той вводить вилку штепселя на іншому кінці того ж комутаційного шнура в гніздо абонента Б і, перекидаючи перемикач, проводить комутацію, в результаті чого телефон абонента Б дзвонить (надалі ця процедура ускладнилася в тих випадках, коли гніздо абонента Б виявлялося не на тому ж комутаторі, що і гніздо абонента А). Коли абонент Б відповідає, дзвінок припиняється, оператор відключається і може

обслуговувати інший виклик. Коли абонент А вішає трубку, оператор виймає штепсельні вилки комутаційного шнура з обох гнізд.

Сьогоднішній абонент АТС виконує, по суті, ті ж функції, що і абонент РТС. Він викликає станцію, знімаючи телефонний з важеля, і дає сигнал відбою, опускаючи телефонний на важіль. По іншому на станцію передається лише інформація, що ідентифікує абонента: Абонент АТС використовує для цієї мети встановлений на його телефонному апараті номеронабирач, який перетворює набирається номер в серії імпульсів струму. Кількість серій відповідає числу цифр в номері абонента, а число імпульсів в кожній серії – черговій цифрі цього номера. Що ж стосується функцій оператора РТС, то вони виконуються на АТС автоматичними приладами. При виклику з боку абонента АТС до його лінії підключаються пристрої для прийому інформації про набирається номері. При цьому абоненту передається звуковий сигнал «Відповідь станції», що означає готовність станції до прийому номера. Відповідно до прийнятого номером комутаційні пристрої відшуковують лінію абонента. Потім перевіряється стан цієї лінії. Якщо вона вільна, то зі станції в апарат абонента надсилається індукторний струм – сигнал виклику, і одночасно в апарат абонента передається Звуковий сигнал Контроль посилки виклику. Після встановлення з'єднання в комутаційних приладах замикається ланцюг розмовного тракту. При відбої абонентів розмовний тракт порушується і комутаційні пристрої повертаються в початковий стан. Якщо ж лінія абонента виявилася зайнятою іншим з'єднанням, зі станції в апарат абонента передається Звуковий сигнал Зайнято.

У 1885 р російський уряд прийняв рішення будувати міські телефонні мережі не тільки по договорам з компанією Белла, але також силами і засобами Головного управління пошти і телеграфу. Перша станція на 60 номерів, змонтована силами Головного управління, була введена в експлуатацію 1 квітня 1886 року в Києві. Надалі Головне управління пошти і телеграфу будувало власні станції в Харкові, Казані, Астрахані, Курську та інших містах.

Всі ці станції були імпортними, а точніше – розробленими іноземними компаніями, які мали офіційний статус «вітчизняного виробника». Для отримання такого статусу потрібно мати в складі акціонерного капіталу телефонної компанії хоча б незначну частину російського капіталу і статут, зареєстрований в установленому порядку. Найбільшу роль в розвитку телефонного виробництва Росії мали заводи Російського акціонерного товариства «Л.М. Еріксон і К<sup>о</sup>» і акціонерного товариства «Н.К. Гейслер і К<sup>о</sup>». Шведська фірма «Л.М. Еріксон» стала основним постачальником телефонного обладнання для російських урядових телефонних мереж і для царської армії і флоту ще на початку 90 х років минулого століття. Згодом, через зміни митної політики, фірма відкрила в 1897 р в Петербурзі складальну і монтажну майстерню, а в 1900 - 1902 рр. побудувала в Петербурзі на Выборзькій стороні перший в країні телефонний завод, званий сьогодні «Червона зоря»



Рис.6. Телефонний завод «Червона зоря»

У 1874 р телеграфний механік Н. К. Гейслер відкрив в Петербурзі невелику електромеханічну майстерню по ремонту телеграфної апаратури, яка з 1884 р стала випускати телефонні комутатори, винайдені Л. Х. Йозефом, а в 1895 р спільно з американською фірмою «Вестерн Електрик К<sup>о</sup>» і на її гроші

побудувала У Петербурзі телефонно-телеграфний завод, який став випускати телефонну апаратуру.

І ще одна компанія, теж отримала статус вітчизняного виробника, німецька фірма «Акціонерного товариства російських електротехнічних заводів Сіменс і Гальске» - підключилася до телефонного виробництва. У 1853 р ця фірма побудувала в Петербурзі перший в Росії електротехнічний завод, який виробляв телеграфні апарати Морзе, Юза і Бодо, динамо машини, електродвигуни і прилади залізничної сигналізації, а за тим став заводом ім. Козицького. У 1912 р в Петербурзі був відкритий інший електротехнічний завод фірми «Сіменс Шуккерт », на званий пізніше заводом «Електросила» імені Кірова. Крім того, фірма «Сіменс і Гальске» побудувала в Петербурзі кабельний завод, що став потім заводом « Севкабель».

В 1900 р закінчився термін концесії, наданої раніше компанії Белл на експлуатацію Московської, Петербурзької, Одеської і Ризької телефонних мереж. В результаті нових торгів контракт на експлуатацію Московської міської телефонної мережі був укладений з Шведсько-Датсько-Російським акціонерним товариством. Подальша реконструкція мережі, що мала на той час 2860 телефонів, виконувалася шведською фірмою «Л.М. Еріксон ». У січні 1905 р Москві була запущена нова телефонна станція ємністю 40 тисяч номерів. У цій станції був застосований груповий принцип, згідно з яким всі комутаторної обладнання станції ділилося на комутатори групи А і комутатори групи Б. У багаторазове поле комутаторів групи А включалися лінії абонентів з номерами від 1 до 20000, в багаторазове поле комутаторів групи Б - лінії абонентів з номерами від 20001 до 40000. Абонентські телефонні апарати були забезпечені двома кнопками. Знявши мікротелефонну трубку, абонент, щоб викликати оператора, який обслуговував потрібну групу, натискав відповідну кнопку.

Телефонні мережі Росії продовжували інтенсивно розвиватися аж до 1917 року, досягнувши ємності в 232 тис. номерів. Відповідно до декрету 13 липня 1918 «Про користування московськими міськими телефонами» була

організована спеціальна комісія, яка займалася розподілом телефонів між споживачами. В першу чергу забезпечувалися радянські установи і підприємства. У приватних осіб квартирні телефони зберігалися в виключних випадках і з обов'язковим наданням можливості користуватися апаратом всім, що проживають в тому ж будинку. На околицях, де телефони були не у всіх будинках, мешканці «приписувалися» до найближчого телефону, отримуючи через місцеві Ради особливі картки на право користування ним. За 5 років до 1922 року телефонна ємність скоротилася майже втричі і склала 89 тис. номерів.

Решта світу в цей час турбувала зовсім інша проблема – економічна неефективність розширення ємності телефонної мережі шляхом збільшення кількості та/або удосконалення ручних комутаторів, керованих телефоністками операторами. До речі, першими телефонними операторами РТС, всупереч розхожій думці, яке відображає і більш пізній рис.1.4, були особи чоловічої статі. У США їх навіть називали: «switchmen» - «людина перемикач». Цей підхід, ймовірно, запозичений з телеграфії, де в Росії, наприклад, жінки могли займати посади телеграфістів тільки в Петрограді і в Фінляндії, а лише з 1871 р – повсюди. Надалі професія телефонного оператора стала, в основному, жіночою професією, причому аж ніяк не простою. Через відсутності багаторазового поля, в тих випадках, коли один з абонентів, включених, наприклад, в перший комутатор, вимагав з'єднання з абонентом, включеним в п'ятий комутатор, телефоністка першого комутатора з'єднувала його з'єднувальною лінією з телефоністкою п'ятого комутатора і голосно повідомляла їй про номер, з яким потрібно з'єднання. У міру зростання ємності РТС ставало все більше таких сполучень, в яких брали участь дві телефоністки, що створювало великий шум, вело до збільшення кількості помилок в з'єднаннях, посилювали вимоги до відбору телефоністок: на цю посаду стали приймати дівчат високого зросту і незаміжніх, «щоб зайві думи і турботи не при водили до зайвих помилок». Існує історична версія, згідно з якою саме порушення однієї телефоністкою обітниць безшлюбності і



послужило причиною винаходу А. Строуджер першої автоматичної телефонної станції в 1891 році.

### **2.3 Автоматична комутація**

Ця версія полягає в тому, що А. Строуджер, будучи власником похоронного бюро в місті Канзас Сіті, зазнавав збитків при отриманні замовлень по телефону, т. я. чоловіком однієї з телефоністок РТС Канзас Сіті був власник іншої, конкуруючої похоронної компанії, до якої ця телефоністка і направляла всі дзвінки абонентів, які викликали похоронне бюро. Розсерджений такою корупцією, Строуджер поклявся назавжди позбавити суспільство від телефоністок і винайшов автоматичний телефонний комутатор декадно-крокової типу, ємністю до 99 абонентів, а також запатентував цей винахід на ім'я заснованої ним же в 1892 році компанії Strowger Automatic Telephone Exchange Company. Тепер ця компанія називається Automatic Electric Company і є виробничим відділенням корпорації General Telephone.

У 1896 р Строуджер винайшов телефонний апарат з дисковим номеронабирачем, який дозволяв абонентам самим набирати номер і встановлювати зв'язок швидше, ніж оператор. Ще не закінчився (в 1906 році) термін патенту Строуджера, телефонні мережі Bell Systems були на 100% ручними і не використовували автоматичні станції. Зачекавши до 1906 року, АТ&Т уникла необхідності платити Строуджеру авторські гонорари за патент, але її перші автоматичні телефонні станції були встановлені саме компанією Строуджера.

Ці декадно-крокові станції виявилися настільки надійними, що багато хто з них працюють ще й сьогодні, причому це має місце не тільки у взаємопов'язаних мережі зв'язку на теренах Радянського Союзу. У Лос-Анжелесі, наприклад, деякі фешенебельні готелі до самого останнього часу зберігали свої власні декадно-крокові комутатори.

Вітчизняна історія АТС починається в 1923 р з цікавого рішення телефонної підсекції Держплану СРСР: «За відсутністю досвіду будівництва і

експлуатації АТС побудувати кілька дрібних станцій». На виконання цього рішення в 1924 р в Московській телефонній мережі для службового зв'язку була змонтована декадно-крокова АТС на 1000 номерів фірми «Сіменс і Гальске» з задіяної ємністю всього 100 номерів.

Результатом контракту, затвердженого Радою Народних Комісарів 27 жовтня 1925 р став початок будівництва в 1926 р в Ростові на Дону першої в СРСР автоматичної телефонної станції машинної системи «Л.М. Еріксон». Ця АТС була здана в експлуатацію в 1929 р, а потім пішли станції в Москві, Новосибірську, Ташкенті, Смоленську, Ленінграді та інших містах.

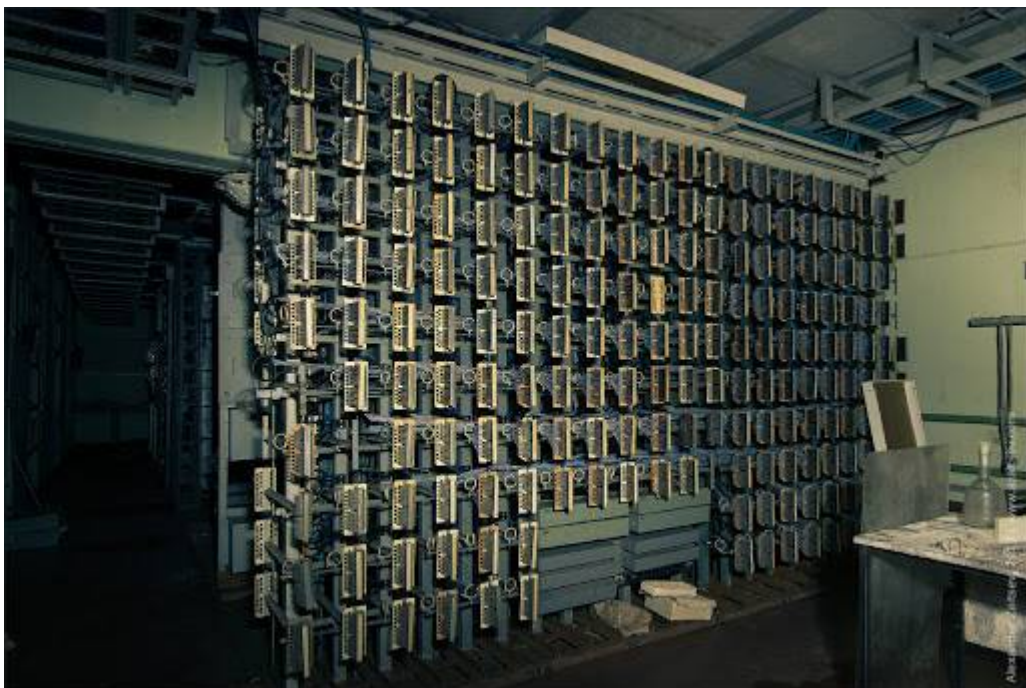


Рис.7. Декадно-крокова станція

У 1947 році технічна рада Міністерства зв'язку СРСР офіційно схвалив генеральну схему розвитку телефонного зв'язку на базі декадно-крокових АТС. Виробництво такої АТС, названої згодом АТС 47, було налагоджено заводом «Червона зоря». Незабаром з'явилася потреба в радикальному удосконаленні ДШ АТС 47, яке було виконано фахівцями ЛОНИС і заводу «Червона зоря» і привело до створення нової станції – АТС 54. Ця станція мала ряд переваг перед АТС 47. Дальність дії по абонентським і сполучних ліній зростає, з'явилася можливість передавати сигнали набору номера по телефонним дротом завдовжки до 40 км, а також можливість автоматичного

міжміського телефонного зв'язку, покращився експлуатаційно технічне обслуговування і зменшилися витрати на нього, збільшилася надійність роботи обладнання.

Однак і ця модернізація не могла усунути принципові недоліки, властиві декадно-кроковим станціям. Ефективний розвиток зростаючих міських телефонних мереж стримувалося, головним чином, малої ємністю контактного поля шукачів, і проектувальники змушені були йти на свідомо неоптимальні рішення. З автоматизацією міжміського телефонного зв'язку стало істотно проявлятися низька якість розмовного тракту через нестабільності ковзаючих контактів шукачів, що створювали неприпустимо високий рівень шумів. Різноманітні спроби поліпшити ситуацію, включаючи навіть досить дороге нанесення на щітки шукачів тонкого шару благородного металу і покриття контактних ламелей шукачів сріблом, не давали необхідного ефекту.



Рис. 8. Координатна станція

У першому поколінні автоматичних телефонних станцій декадно-крокової системи (АТС ДШ) у процесі експлуатації був виявлений ряд серйозних недоліків:

- низька якість обслуговування;
- невисока надійність комутаційного обладнання;
- обмежена швидкодія;
- наявність великої кількості обслуговуючого персоналу;
- мала провідність ліній.

Ці недоліки декадно-крокових АТС були усунені в станціях наступного покоління – координатних. Ємність контактного поля комутаційних приладів таких АТС значно більше, ніж ємність поля декадно-крокових шукачів, а контакти

ковзання замінені в них контактами тиску, що мають стабільний опір і набагато більший термін служби. Прилади ці будуються у вигляді матриць, що мають кожна  $n$  входів і  $m$  виходів. Матриця може або формуватися з  $n \times m$  електромагнітних реле, або виконуватися у вигляді єдиної конструкції (багаторазового координатного з'єднувача – МКС). Перший координатний комутатор винайшли в Швеції, а в Bell Laboratories розробили відразу три основні різновиди координатних станцій. Їх називали «координатна станція типу  $k(XBk)$ »,  $k = 1, 4$  і  $5$ . Координатна станція типу 1 була вперше встановлена в 1938 році і мала досить скромний успіх, а координатна станція типу 2 взагалі ніколи не впроваджувалася. Наступною була розроблена координатна міжміський станція, названа в США станцією типу 4 і стала першою автоматичною міжміського станцією, призначеної для заміни працював тоді ручного обладнання 4A Toll Switchboard. Координатна станція типу 5 була вперше встановлена в 1948 році, вона виявилася дуже вдалою і популярною в якості місцевої АТС.

В СРСР перша дослідна координатна підстанція ємністю 100 номерів - ПС МКС 100 – розроблена НІІТС (ЛОНІИС) і заводом «Червона зоря», була встановлена в Ленінградській міській телефонній мережі в 1957 р (Ленинградский отраслевой НИИ связи)

На початку 60 х років ЛОНІИС, спільно з заводом «Червона зоря» та іншими підприємствами промисловості зв'язку, приступив до розробки координатної АТС для міських телефонних мереж, яка завершилася створенням АТСК.

## **2.4 Квзіелектронні і електронні АТС**

У ході розвитку технологій стали з'являтися замітники традиційних електромеханічних комутаційних елементів – електронні та магнітні пристрої, в яких були відсутні рухомі частини, а отже, практично зникали механічні пошкодження, підвищувався швидкодію, знижувалися габарити і маса.

Перевагами електронних комутаційних елементів були також більш висока технологічність виготовлення, більша інтеграція компонентів в одному корпусі, можливість використання друкованого монтажу та інших досягнень електроніки того часу: транзисторів, напівпровідникових діодів, твердих інтегральних схем і великих інтегральних схем (БІС) з високим ступенем інтеграції. Відповідно, електронні АТС, в порівнянні з електромеханічними, мали менші габарити, вимагали менших площ і кубатури будівель, менших витрат на електроенергію і експлуатаційне обслуговування, забезпечували більш гнучкі можливості побудови телефонних мереж.



Рис.9. Квзіелектронна станція

На першому етапі досягнення електроніки стали застосовуватися тільки в керуючих пристроях АТС, що призвело до появи квзіелектронних АТС, які поєднали в собі електронне управління і електромеханічні комутаційні елементи.

Практично в той самий період, на зламі 1960х і 1970х років, робляться найважливіші кроки в розвитку систем комутації, пов'язані з комп'ютерною революцією. Комп'ютери починають використовувати для перетворення адресної інформації, для лінійного шукання в комутаційному полі та ін., А управління по записаній програмі в квзіелектронних і електронних АТС стало нормою. Саме програмне керування комутацією послужило важливою передумовою зародження сучасної теорії програмування. Багато досягнення в теорії програмування з'явилися результатом досліджень і розробок вчених і інженерів телекомунікаційних компаній, зокрема, Bell System. Перше програмне забезпечення комутації в АТС було реалізовано до винаходу

сучасної операційної системи. Програми управління комутацією писалися на мові асемблера, а розподілом програмних сегментів управляли самі розробники програм.

Перша телефонна станція з програмним управлінням народилася в 1950х роках в дослідницькому центрі Bell Laboratories. Дослідний зразок системи, названий ESSEX, пройшов експлуатаційні випробування в 1960 році в Моріс, штат Ілінойс. Однак шлях від зразка до промислового виробництва виявився набагато важче, ніж очікувалося. Розробка вимагала прориву в областях конструювання процесора, мов програмування, компіляції, розподілу ресурсів в реальному часі і інших зусиль, які згодом утворили цілі галузі наукової дисципліни, відомої тепер як комп'ютерні науки. Перша комерційна комутаційна станція ESS1 була введена в експлуатацію 30 травня 1965 року в Суккасуні, штат Нью Джерсі і обслуговувала 200 абонентів. Пізніше в число подібних розробок увійшли ESS2 і ESS3, а також аналогічні вироби інших виробників. У міру розвитку комп'ютерів деталі конструкції цих станцій зазнавали змін, і протягом 20 років ESS1 переросла в більш сучасну версію 1A ESS.

Назва квазіелектронні АТС передбачає збереження просторової аналогової комутації із застосуванням механічних контактів, але, одночасно, використання електронних програмованих керуючих пристроїв. Для побудови комутаційного поля в квазіелектронних АТС застосовувалися швидкодіючі малогабаритні комутаційні елементи з електричним, магнітним або механічним утриманням контактів в робочому стані. До комутаційним елементів з електричним утриманням відносилися герконові реле і реле типу ESK.

## **2.5 Цифрові АТС**

Перехід на цифрову передачу і комутацію негайно призвів до різкого поліпшення якості мови, особливо в тих випадках, коли учасники з'єднання були розділені великою відстанню (для запобігання втрат інформації, що передається потрібно безліч регенераторів, кумулятивний побічний ефект



яких – значне спотворення сигналу, але цифровий сигнал, на відміну від аналогового, дуже легко відновлювати).

Першою цифрової АТС виявилася не розробка Bell Laboratories, а європейська станція E10, встановлена в 1970 році в Ланьон, Франція. В американських джерелах першої цифровою системою часто називають міжміську станцію 4ESS, створену в Bell Laboratories і вперше встановлену в 1972 році в якості альтернативи координатним АМТС типу ХВ4, а першою міською цифровою АТС – станцію DMS 10 компанії Nortel, теж встановлену в 1970-х роках. Що ж стосується міських станцій Bell Laboratories, то перша цифрова АТС типу 5ESS була встановлена на початку 1980-х років.

Мікропроцесорна революція вплинула на архітектуру систем комутації не тільки завдяки зниженню вартості керуючих комп'ютерів. Відбулася відмова від повністю централізованого управління і перехід до модульної архітектури, з'явилися віддалені мікропроцесорні модулі, розвантажити основні системи і забезпечили економічну ефективність і в станціях малої місткості.



Цифрова станція 5ESS - Lucent

Здешевлення мікропроцесорних керуючих пристроїв ніяк не вплинуло на вартість розробки цифрових АТС. Розробка однієї з найбільш відомих станцій – 5ESS зайняла 4 тисячі людино-років і близько 500 млн. доларів. Втім,

навряд чи це виявилось найскладнішою і трудомісткою роботою Bell Laboratories . Хоча лабораторії були створені в 1925 р для досліджень в області телефонного зв'язку, їх винаходи просунули вперед далеко не тільки телефонію: в Bell Laboratories були розроблені транзистор, численні аудіо пристрої, системи бездротового радіозв'язку, операційна система UNIX і багато, багато іншого.

## **2.6. Класифікація систем комутації**

*До аналогових АТС відносяться* електромеханічні, механоелектронні, квазіелектронні і деякі електронні АТС, а до цифрових – тільки електронні АТС.

В електромеханічних АТС комутаційне поле (КП) будується на різного виду електромагнітних шукачах, багатократних координатних з'єднувачах (БКЗ) та реле. До них відносяться ДКАТС, які отримали назву АТС-54, використовуються на МТМ і на СТМ. В якості відомчих АТС використовуються УАТС-49. На міжміській мережі – АМТС-1. Побудовані на крокових шукачах (КрП) КрП-11, КрП-17, ДКП-100 (станції 1 покоління).

До координатних АТС відносяться:

- 1- “Пентаконтта” . Використовує великі КБ, побудовані на БКЗ з вертикалями великої ємності на 28, 52 і 74 лінії. Виробництво Польщі по французькій ліцензії.
- 2- АТСК, АТСК-У, у яких для побудови деяких керуючих пристроїв використовуються електронні напівпровідникові прилади, що призводить до зменшення габаритів апаратури і прискорення роботи керуючих приладів.
- 3- На сільських телефонних мережах використовуються АТС типу АТСК-100/2000, АТСК- 50/200 і АТСК-50/200М.

Для зменшення витрат на АЛ використовуються підстанції ПСК-1000К. В якості установчо-виробничого зв'язку – АТС-100/2000.

*До механоелектронних систем комутації відносяться* АТС, комутаційне поле яких побудоване з використанням електромагнітних приладів (малогабаритні БКЗ), а в якості керуючих приладів – електронні



керуючі прилади. До них відносяться: ARE-11 (в якості РАТС), ARE-13 (в якості АМТС).

*Квазіелектронними АТС називаються станції, комутаційне поле яких реалізоване на швидкодіючих електромагнітних приладах з герметизованими контактами, а весь процес керування відбувається за допомогою електронних керуючих пристроїв.*

Існують такі різновиди:

- 1) АТСКЕ типу “Квант” використовуються в якості ЦС, ВС і КС на СТМ і установчих АТС. Ємність : 64...2048.
- 2) АТСКЕ “Істок” – ІАТСКЕ-1 – використовуються в якості опорних станцій (від 64...4096), центральних станцій (ЦС), в якості КС (64...256) – УАТСКЕ-3.
- 3) АТСКЕ “Кварц” – використовуються в якості РАТС і АМТС, ВВих3 і ВВх3.

В наш час на мережах зв’язку України використовуються такі цифрові системи комутації: МТ-20/25, EWSD, Alcatel-1000 Е-10, 5ЕSS, С-32, Si-2000.

## Лекція 2. Поняття комутації. Телефонний тракт. Основні вимоги до якості передавання мови по телефонному тракту.

### 1. Термінологія та принципи побудови систем комутації

**Комутація** є необхідним елементом зв'язку вузлів між собою, що дозволяє скоротити кількість необхідних ліній зв'язку і підвищити завантаження каналів зв'язку. Практично неможливо надати кожній парі вузлів виділену лінію зв'язку, тому в мережах завжди застосовується той або інший спосіб комутації абонентів, що використовує існуючі лінії зв'язку для передачі даних різних вузлів.

Під **комутацією** розуміють замикання, розмикання і перемикання електричних кіл. Комутація здійснюється на комутаційних вузлах. На мережах електрозв'язку за допомогою комутації **абонентські пристрої** з'єднуються між собою для передачі (прийому) інформації. Абонентські пристрої в деяких випадках називають кінцевими пристроями мережі.

Сектор стандартизації електрозв'язку міжнародного союзу електрозв'язку ІТУ-Т визначив **комутацію** як з'єднання одного з безлічі входів системи з одним із безлічі виходів системи, який організований за запитом і надається парі вхід/вихід на час, який потрібний для обміну інформацією між ними.

Комутація здійснюється на **комутаційних вузлах** (КВ), що є складовими частинами мережі електрозв'язку.

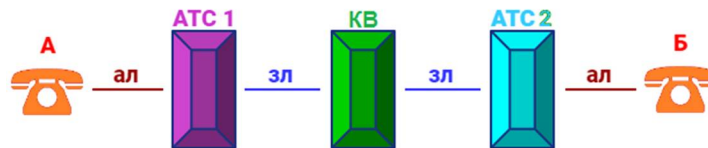


Рис. 1. З'єднання двох абонентів лініями зв'язку

Абонентські пристрої мережі з'єднуються з КВ **абонентськими лініями** (АЛ). КВ, що знаходяться на території одного міста (населеного пункту), з'єднуються **з'єднувальними лініями** (ЗЛ). Якщо комутаційні вузли знаходяться в різних містах, то лінії зв'язку, що їх з'єднують, називаються **міжміськими** або **внутрішньозоновими**. КВ можуть з'єднуватися між собою засобами фізичних ланок або ущільнених ліній в яких утворена необхідна кількість каналів. Під каналом розуміють сукупність технічних засобів (лінійних, станційних) що забезпечують інформацію як між суміжними КВ, так і між комутаційними станціями та кінцевими пристроями.

Комутаційний вузол, в який включаються абонентські лінії, називається **комутаційною станцією** або просто **станцією**. В деяких випадках абонентські лінії включаються в **підстанції** (ПС) або **концентраторів**. Особа, що користується абонентським пристроєм для передачі і прийому інформації, називається **абонентом**. Для передачі інформації від одного абонентського пристрою мережі до іншого вимагається встановити з'єднання між цими пристроями через відповідні вузли і лінії зв'язку. Для здійснення з'єднання на комутаційних вузлах встановлюється **комутаційна апаратура**.

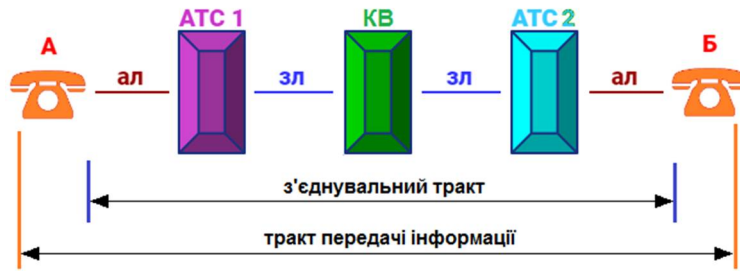


Рис.2. З'єднувальний і телефонний тракти

Сукупність лінійних і станційних засобів, призначених для з'єднання кінцевих абонентських пристроїв, називається **з'єднувальним трактом**. Число комутаційних вузлів між абонентськими пристроями, що з'єднуються, залежить від структури мережі і напрямку з'єднання. Сукупність пристроїв, які входять в систему електричної передачі мови від передавача до приймача, називається **трактом передачі телефонної інформації** або просто **телефонним трактом**.

Щоб здійснити необхідне з'єднання на КВ від абонента, що викликає повинна надійти інформація про номер абонента якого викликають – адресна інформація. Для здійснення необхідного з'єднання комутаційний вузол і абонентський пристрій обмінюються **керуючими сигналами** (відповідь станції, сигнал посилки виклику, сигнал «зайнято»).

На комутаційному вузлі з'єднання може встановлюватися на певний час, необхідний для передачі одного повідомлення (наприклад, однієї телефонної розмови), або на довгий час, що перевищує час передачі одного повідомлення. Комутація першого виду називається **оперативною**, а другого – **кросовою** (довготривалою).

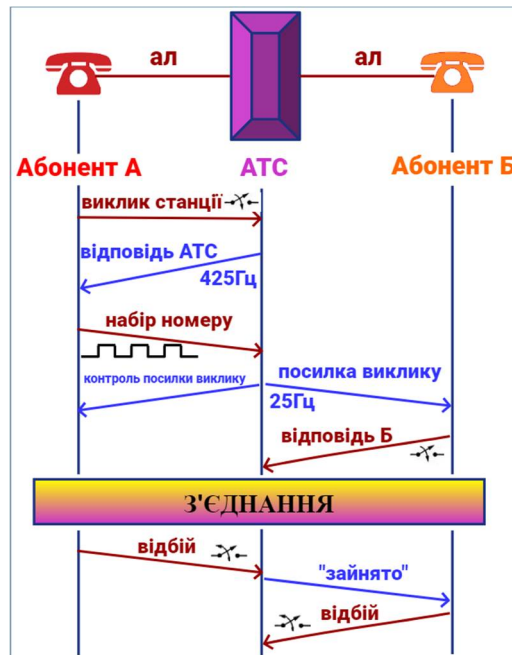


Рис.3. Етапи встановлення з'єднання між двома абонентами

**Комутаційна станція** (Switching Exchange) – сукупність апаратно-програмних засобів, що забезпечують встановлення з'єднань для обміну інформацією.

**Місцева станція** (Local Exchange) – комутаційна станція, що забезпечує підключення абонентських терміналів.

**Транзитна станція** (Transit Exchange) – комутаційна станція, призначена для встановлення з'єднань між іншими станціями.

**Комбінована станція** (Combined Local/Transit Exchange) – комутаційна станція, що виконує функції як місцевої, так і транзитної станцій.

**Комутована мережа** (Switched Network) – певна сукупність комутаційних станцій і частина ресурсів транспортної мережі, які були призначені для обміну одним або більше видами інформації.

Комутовані мережі можуть бути класифіковані по основному виду інформації, що передається (телефонна, телеграфна і інші), або за способом її розподілу (комутація каналів, пакетів, повідомлень).

**Телефонія** (Telephony) – вид електрозв'язку, призначений в основному, для обміну мовною інформацією.

**Телефонна мережа** (Telephone Network) – комутована мережа, яка призначена, в основному, для встановлення з'єднань між телефонними апаратами викликаючого абонента і абонента призначення.

Примітка: телефонні мережі доцільно класифікувати по рівню ієрархії; наприклад, МТМ, СТМ, а також мережі абонентського доступу.

## 2. Основні вимоги до якості передавання мови

Мова людини являє собою сукупність звукових коливань. При телефонному передаванні (рис.4) звукові коливання, збуджені джерелом звука - абонентом, який розмовляє, через акустичне середовище діє на акустично-електричний перетворювач АЕП (мікрофон) телефонного апарату (ТА1), який перетворює їх у відповідні коливання електричного струму. Енергія цих коливань через телефонний апарат ТА1 та з'єднувальний тракт направляється в тракті прийому на електроакустичний перетворювач ЕАП (телефон, гучномовець) ТА2. В ЕАП електрична енергія перетворюється в звукову та через акустичне середовище сприймається приймачем звуку вухом слухача. Для двостороннього телефонного передавання АЕП та ЕАП повинні встановлюватися в ТА обох абонентів.

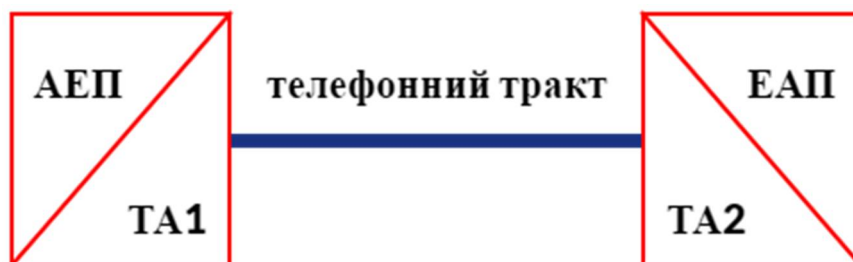


Рис.4 Етапи перетворення сигналу при передачі звуку в ТМ

До складу телефонного апарату входять:

- **прилади розмовного тракту (ПРТ)** – мікрофон і телефон, об'єднані конструктивно в мікротелефоні, та ряд схемних елементів, що забезпечують можливість якісного ведення розмови;
- **прилади, що призначені для виклику (ВП)** – дзвінок, що служить для прийому сигналу про виклик, який надійшов;
- **комутаційні прилади** – важільний перемикач та номеронабирач, які необхідні для встановлення з'єднання.

Основними вимогами до якості передавання мови по телефонному тракту є складова розбірливість, гучність та натуральність мови, що отримується на прийомному кінці тракту.

**Складова розбірливість** – відзначає виконання телефонним трактом своєї основної функції – забезпечення слухачу сприйняття змісту повідомлення, що передається. Цей показник стосується не лише телефонного апарату, а і всієї системи передавання. Складова розбірливість визначається як відношення правильно прийнятих складів до загальної кількості переданих. Телефонний апарат повинен забезпечувати 80-90% складової розбірливості при включенні його у телефонний тракт при затуханні кожної з абонентських ліній -4,5 дБ, з'єднувальної лінії – 22,5 дБ і при рівні шуму в приміщення – 60дБ.

Складова розбірливість є суб'єктивною і залежить від людської складової та технічної складової. Для досягнення такого інтегрального показника необхідно виконати вимоги до ряду технічних характеристик, а саме смуга відтворення і рівномірність частотної характеристики.

Найбільший діапазон частот, який сприймає людина від 10 до 20 кГц, а діапазон частот, що може бути відтворений людиною – 300-3400 Гц. Тобто  $\Delta f=4$  кГц. Аналоговий сигнал з такою смугою зв'язківці називають основним, тональним або мовним сигналом, а канал, по якому його передають – телефонним каналом (мовним каналом, каналом тональної частоти). Вся телефонна мережа і її прилади призначені для передачі саме цього діапазону частот.

В межах абонентського терміналу рівномірність частотної характеристики залежить від звукоприймаючої і звуковідтворюючої апаратури.

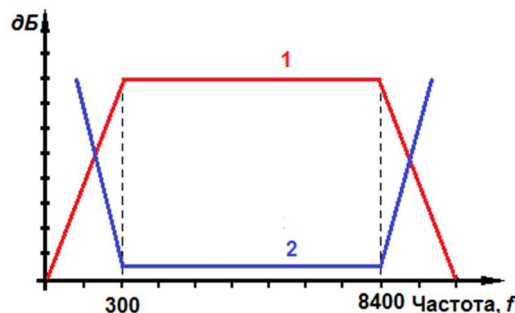


Рис.5. Частотна характеристика

Крива 1 – відтвореність сигналу, Крива 2 – затухання сигналу.

Людське вухо сприймає різні частоти по різному, частоти в діапазоні 800-1000 Гц сприймаються найкраще більшістю людей, тому пристрої розмовного тракту повинні передавати і приймати звук у даному діапазоні без спотворень.

Подавлення шумів повинно проводитися вибірково у різних діапазонах частот, тому виникає поняття психофотричного шумів, тобто шумів, оброблених із врахуванням людського фактору.

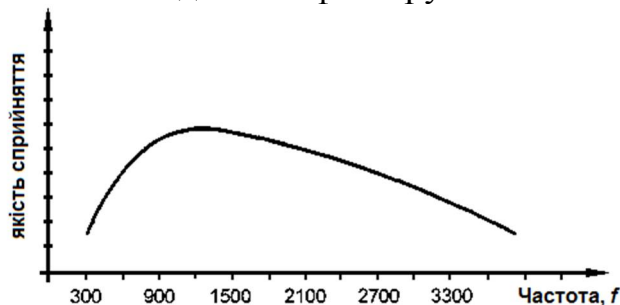


Рис.6. Психофотрична діаграма

Одна з специфічних вимог яка з усіх звукових пристроїв висувається лише до телефону – необхідність зменшення переходу звуку з власного мікрофону у власний телефон – місцевий ефект (принцип компенсації, мостова схема).

**Гучність** – визначає необхідний рівень сигналів, що надходять, які б забезпечували розбірливість мови без напруження слухового апарату з боку приймаючого абонента.

**Натуральність** – оцінює здібність відтворювати не тільки зміст мови, що передається, але і її тембр, тобто дійсно звучання мови, що дозволяє абонентам впізнати один одного.

## Лекція 3. Комутаційний вузол та методи комутації

### 1. Комутаційні вузли.

#### 1.1. Структура комутаційного вузла.

**Комутаційний вузол** – це пристрій, призначений для прийому, обробки і розподілу інформації, що надходить.

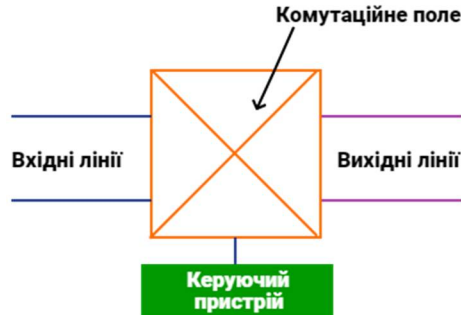


Рис. 1. Комутаційний вузол.

Для виконання своїх функцій комутаційний вузол повинен мати:

- **комутаційне поле (КП)**, призначене для з'єднання вхідних і вихідних ліній (каналів) на час передачі інформації;
- **керуючий пристрій (КПр)**, що забезпечує встановлення з'єднання між вхідними і вихідними лініями через комутаційне поле, а також прийом і передачу керуючої інформації.

До апаратури для прийому і передачі керуючої інформації відносяться (рис. 2):

- **реєстри (Рег)**, або **комплекти прийому номера (КПН)** і **кодіві прийомопередавачі**;
- **лінійні комплекти (ЛК)** вхідних і вихідних ліній (каналів), призначені для прийому і передачі лінійних сигналів (сигналів взаємодії) по вхідних і вихідних лініях або каналах, для виділення каналів в системах передачі, а також для прийому і передачі сигналів взаємодії з керуючими пристроями вузла;
- **шнурові комплекти (ШК)** призначені для живлення мікрофонів телефонних апаратів, прийому і послілки службових сигналів в процесі встановлення з'єднання;
- пристрої введення і виведення ліній (**крос**).

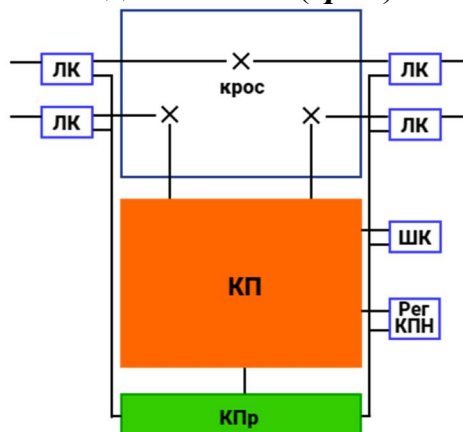


Рис. 2. Структура комутаційного вузла

Крім того, на вузлі використовуються джерела електроживлення, пристрої сигналізації і обліку параметрів навантаження (кількість повідомлень, втрат, тривалості заняття і ін.).

В деяких випадках комутаційний вузол може мати пристрої прийому і зберігання інформації, якщо така передається не безпосередньо споживачу інформації, а заздалегідь накопичується у вузлі. Такі вузли застосовуються в системах *комутації повідомлень*.

## 1.2. Класифікація комутаційних вузлів.

Комутаційні вузли мереж зв'язку класифікуються по ряду ознак:

- по виду інформації, що передається (телефонні, телеграфні, мовлення, телеметрії, передачі даних і ін.);
- за способом обслуговування з'єднань (ручні, напівавтоматичні, автоматичні);
- по місцю, що вони займають в мережі електрозв'язку (районні, центральні, вузлові, кінцеві, транзитні станції, вузли вхідного і вихідного повідомлення);
- по типу мережі зв'язку (міські, сільські, відомчі, міжміські);
- по типу комутаційного і керуючого обладнання (електромеханічні, механічно-електронні, квазіелектронні, цифрові);
- по системах комутаційного обладнання, що використовується (декадно-крокові, координатні, квазіелектронні, цифрові);
- по ємності, тобто по числу вхідних і вихідних ліній або каналів (малої, середньої, великої ємності);
- по типу комутації (оперативна, кросова, змішана);
- за способом розділення каналів (просторовий, просторово-часовий, просторово-частотний);
- за способом передачі інформації від передавача до приймача (вузли комутації каналів, що забезпечують комутацію каналів для безпосередньої передачі інформації в реальному масштабі часу від передавача до приймача після встановлення з'єднувального тракту; вузли комутації повідомлень і вузли комутації пакетів, що забезпечують прийом і накопичення інформації на вузлах з подальшою її передачею в наступний вузол або в приймач).

## 2. Методи комутації

Завданням системи комутації є створення необхідного шляху (в телекомунікаціях – інформаційного тракту) між двома будь-якими кінцевими пристроями.

Залежно від форми подання інформації, що передається через систему інформації розрізняють комутацію **цифрову і аналогову**. Цифровою комутацією називається процес, при якому з'єднання між входом і виходом системи встановлюються за допомогою операцій над цифровим сигналом без перетворення його в аналоговий сигнал.



Розрізняють поняття **однокоординатної і багатокординатної** комутації цифрового сигналу. Однокоординатною називається комутація, при якій з'єднувальні шляхи в системі відокремлені один від одного за однією роздільною ознакою (під роздільною ознакою розуміється параметр, за яким в системі відбувається поділ сполучних шляхів між входом і виходом системи). Якщо для здійснення комутації використовується дві і більше координати, то говорять про багатокординатну комутацію.

Існує **два принципи комутації** – з перемиканням трактів (комутація каналів) і з запам'ятовуванням інформації (комутація із запам'ятовуванням). Комутація каналів застосовується в основному на мережах, до яких пред'являються дві основні вимоги: час на встановлення з'єднання повинен бути значно менше часу сеансу зв'язку, і, крім того, затримки інформації при передачі повинні бути мінімальні. Зазвичай це мережі, де необхідно забезпечити діалогову роботу. При цьому способі з'єднувальний шлях між входом і виходом системи надається на час, необхідний для передачі всієї інформації. Комутація каналів може бути реалізована в системах з об'єднанням частотно-розділених каналів (ЧРК), системах з об'єднанням часово-розділених каналів (ЧасРК) і кодово-розділених каналів.

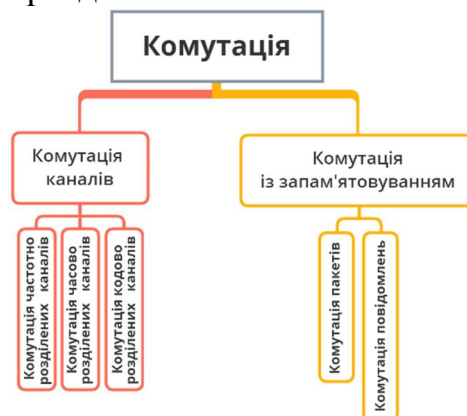


Рис.3. Види комутації

## 2.1. Комутація каналів

При комутації каналів комутаційна мережа утворює між кінцевими вузлами безперервний складовою фізичний канал з послідовно з'єднаних комутаторами проміжних каналних ділянок. Умовою того, що кілька фізичних каналів при послідовному з'єднанні утворюють єдиний фізичний канал, є рівність швидкостей передачі даних у кожному зі складових фізичних каналів. Рівність швидкостей означає, що комутатори такої мережі не повинні буферизувати передані дані.

У мережі з комутацією каналів перед передачею даних завжди необхідно виконати процедуру встановлення з'єднання, у процесі якої і створюється складений канал. І тільки після цього можна починати передавати дані.

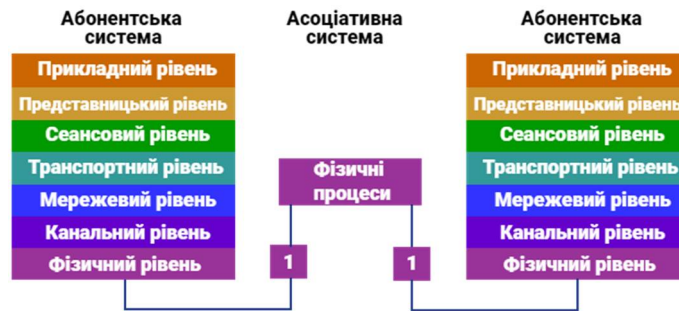


Рис.4. Схема комутації каналів

Для комутації каналів використовують 3 методи розділення каналів: частотне, часове і кодове.

**Частотний метод розділення** (об'єднання) каналів і на його основі система передачі з часовим розділенням каналів (СП з ЧРК).

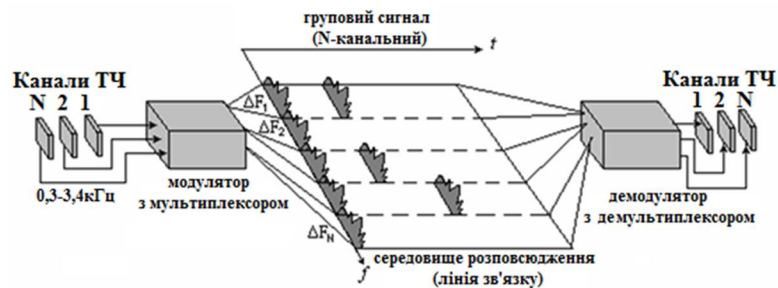


Рис.5. Принцип СП з ЧРК.

У системах передачі з об'єднанням ЧРК для передачі сигналів по кожному каналу в діапазоні частот лінійного тракту відводиться певна смуга частот. Найчастіше системи з об'єднанням ЧРК передають аналогові сигнали, тому іноді їх називають аналоговими системами передачі.

Спектр кожного каналу ТЧ за допомогою модулятора переноситься в більш високочастотну область, і за допомогою мультиплексора всі канали об'єднуються в загальний груповий потік з різними несучими частотами. При мультиплексуванні використовується лише одна бічна смуга модульованого сигналу з подавленням несучої.

**Часовий метод розділення** каналів і на його основі система передачі з часовим розділенням каналів (СП з ЧасРК).

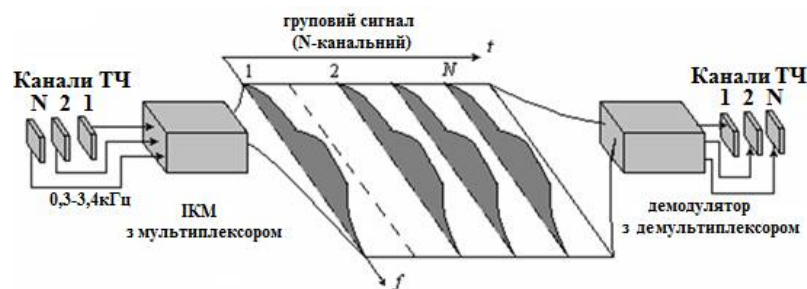


Рис.6. Принцип СП з ЧасРК.

Сигнали кожного каналу ТЧ по черзі дискретизуються, квантуються і мультиплексується. Кожен канал займає весь спектр каналу, але передається по черзі.

В системі передачі з об'єднанням ЧасРК для передачі сигналу по кожному каналу в лінійному тракті відводиться певний інтервал часу. Якщо в ці інтервали часу по кожному каналу передаються цифрові сигнали, то такі системи передачі з ЧРК називаються цифровими системами передачі. Як правило, в таких системах застосовується синхронне мультиплексування.

**Кодове розділення** каналів, на його основі реалізуються відповідні системи передавання. Цифровий сигнал кожного каналу кодується з допомогою ортогональних функцій, займає весь спектр системи передавання, і всі канали передаються одночасно. Виділення каналу здійснюється шляхом перемноження групового сигналу на відповідну каналу функцію. Системи з кодовим розділенням каналів є ефективнішими за СП з ЧРК і ЧасРК.

Техніка комутації каналів має свої переваги і недоліки.

#### **Переваги комутації каналів**

- Постійна і відома швидкість передачі даних за встановленим між кінцевими вузлами каналу. Це дає користувачеві мережі можливості на основі заздалегідь зробленої оцінки необхідної для якісної передачі даних пропускної здатності встановити в мережі канал потрібної швидкості.
- Низький і постійний рівень затримки передачі даних через мережу. Це дозволяє якісно передавати дані, чутливі до затримок (звані також трафіком реального часу) – голос, відео, різну технологічну інформацію.

#### **Недоліки комутації каналів**

- Відмова мережі в обслуговуванні запиту на встановлення з'єднання. Така ситуація може скластися через те, що на деякій ділянці мережі з'єднання потрібно встановити вздовж каналу, через який вже проходить максимально можливу кількість інформаційних потоків. Відмова може статися і на кінцевій ділянці складеного каналу – наприклад, якщо абонент здатний підтримувати тільки одне з'єднання, що характерно для багатьох телефонних мереж. При отриманні другого дзвінка до вже абонента, що розмовляє мережа передає абоненту короткі гудки – сигнал “зайнято”.
- Нераціональне використання пропускної здатності фізичних каналів. Та частина пропускної здатності, яка відводиться складеного каналу після встановлення з'єднання, надається йому на весь час, тобто до тих пір, поки з'єднання не буде розірвано. Однак абонентам не завжди потрібна пропускна здатність каналу під час з'єднання, наприклад, у телефонній розмові можуть бути паузи, ще більш нерівномірним у часі є взаємодія комп'ютерів. Неможливість динамічного перерозподілу пропускної здатності є принципове обмеження мережі з комутацією каналів, оскільки одиницею комутації тут є інформаційний потік в цілому.
- Обов'язкова затримка перед передачею даних через фази встановлення з'єднання.

Усе це призводить до того, що комутація каналів стає найнеефективнішим способом комутації інформації. Переваги і недоліки будь-якої мережевої

технології відносні. У певних ситуаціях на перший план виходять переваги, а недоліки стають несуттєвими. Так, техніка комутації каналів добре працює в тих випадках, коли потрібно передавати тільки трафік телефонних розмов. А ось при передачі дуже нерівномірного комп'ютерного трафіку ця нераціональність вже виходить на перший план.

## 2.2. Комутація із запам'ятовуванням

Цей вид комутації заснований на передачі інформації, заздалегідь записаної в пам'ять вузла комутації. При цьому дані можуть бути перетворені (змінена швидкість передачі, змінений код, додана або видалена службова інформація). У системах комутації з запам'ятовуванням застосовується, як правило, асинхронне (статистичне) мультиплексування, що дозволяє в будь-який момент часу надати абоненту необхідну смугу пропускання цифрового тракту (за умови її наявності). Комутація із запам'ятовуванням застосовується, як правило, у цифрових мережах і поділяється **на комутацію повідомлень і комутацію пакетів**.

### 2.2.1. Комутація повідомлень

Комутація, за якої у кожному центрі комутації провадиться прийом повідомлень, їх нагромадження і подальше передавання адресатам, називається *комутацією повідомлень*. Крім інформаційної частини повідомлення містить адресу пункту призначення і різні службові ознаки. Процес переприймання реалізується в усіх центрах комутації повідомлень (ЦКп), що знаходяться на шляху проходження повідомлення. Повідомлення передається повністю, згідно з адресною частиною, що розміщується в заголовку повідомлення. Повідомлення, що надійшли в години найбільшого навантаження і не передані користувачеві, розміщуються в накопичувачах ЦКп і передаються в період часу, коли навантаження спадає.

За такою схемою зазвичай передаються повідомлення, що не вимагають негайної відповіді, найчастіше повідомлення *електронної пошти*. Режим передачі з проміжним зберіганням на диску називається режимом “зберігання-і-передачі” (store-and-forward). Режим комутації повідомлень розвантажує мережу для передачі трафіку, що вимагає швидкої відповіді.

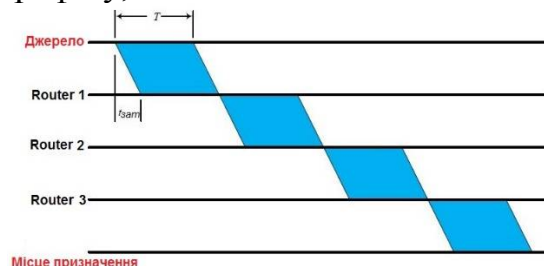


Рис.7. Комутація повідомлень.

$t_{\text{зат}}$  затримка розповсюдження,  $T$  = час передачі одного повідомлення.

Разом з тим мережа з комутацією повідомлень має два дуже суттєвих недоліки.

Перший зумовлений саме принципом переприймання: час затримки в таких мережах є величиною змінною і має випадковий характер. На тривалість затримки впливають такі основні фактори: пропускна здатність каналів, швидкодія ЦКп (характеристики детерміновані) та інтенсивність потоку повідомлень, що надходять у мережу (величина випадкова).

Другий недолік мережі з комутацією повідомлень - неможливість організації діалогу між користувачами через відсутність прямого з'єднання між абонентськими пунктами. Зазначених недоліків принципу передавання з проміжним нагромадженням немає в мережах із комутацією пакетів.

Техніка комутації повідомлень з'явилася в комп'ютерних мережах раніше техніки комутації пакетів, але потім була витиснута останньою, як більш ефективної за критерієм пропускної здатності мережі. Запис повідомлення на диск займає досить багато часу, і крім того, наявність дисків припускає використання в якості комутаторів спеціалізованих комп'ютерів, що тягне за собою істотні витрати на організацію мережі.

Сьогодні комутація повідомлень працює тільки для деяких не оперативних служб, причому найчастіше поверх мережі з комутацією пакетів, як служба прикладного рівня.

### 2.2.2. Комутація пакетів

При комутації пакетів повідомлення розбивають на частини певної довжини – пакети, з метою мінімізувати черги у вузлах комутації і час обробки інформації. Кожен пакет при цьому отримує свій заголовок. Мережі з комутацією пакетів значно перевершують мережі з комутацією повідомлень в швидкості, що дозволяє використовувати їх в даний час не тільки для служб передачі даних, але і служб, що працюють в інтерактивному режимі.



Рис.8. Комутація пакетів

Ця техніка комутації була спеціально розроблена для ефективної передачі комп'ютерного трафіку. Особливістю методу комутації пакетів є одночасне колективне використання каналів значною кількістю абонентських систем. Тут фізичні тракти не створюються і жоден канал не віддається в монопольне володіння парі абонентських систем. Кожним з каналів у міру надходження передаються блоки даних, що посилаються різними абонентськими системами. Комутатори пакетної мережі відрізняються від комутаторів каналів тим, що вони мають внутрішню буферну пам'ять для тимчасового зберігання пакетів, якщо вихідний порт комутатора в момент прийняття пакету зайнятий передачею іншого пакета. У цьому випадку пакет знаходиться деякий час у черзі пакетів у буферній пам'яті вихідного порту, а коли до нього дійде черга, він передається наступному комутатора. Така схема

передачі даних дозволяє згладжувати пульсацію трафіка на магістральних зв'язках між комутаторами і тим самим найбільш ефективно використовувати їх для підвищення пропускну здатності мережі в цілому.

Оскільки всі канали комутаційної підмережі функціонують автономно, то кожен з них описується двома рівнями протоколів.

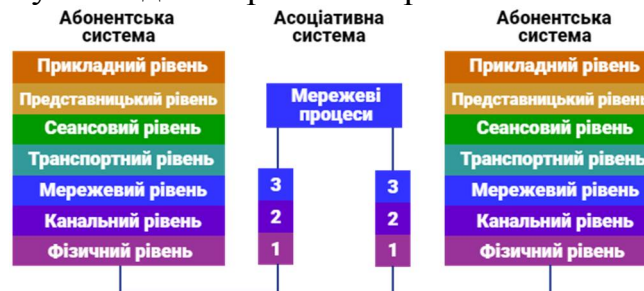


Рис.9. Схема комутації пакетів

Фізичний рівень 1 характеризує канал, а канальний рівень 2 забезпечує керування передаванням блоків даних по цьому каналу. Для послідовного передавання блоків від однієї абонентської системи до іншої потрібно було увести в асоціативних системах рівень 3. Тому в підмережі замість однорівневих комутаторів почали використовувати трирівневі маршрутизатори. Завданням мережних процесів є виконання операцій комутації інформації і прокладання маршрутів руху послідовностей блоків даних. Завдяки цим процесам по кожному каналу передаються будь-які комбінації і послідовності блоків даних, що належать різним парам одночасно взаємодіючих абонентських систем. Унаслідок цього завантаження каналів різко підвищилося.

Проте комутація пакетів не забезпечує доставки послідовностей блоків даних у точно визначений час. А отже, використання цього способу у випадках, коли цей час потрібно гарантувати, виявилось неможливим або дуже складним.

Між іншим, використанням комутації пакетів у режимі діалогу забезпечується передавання не тільки даних, але й мови, хоча з деякими труднощами. Труднощі пов'язані з тим, що мова "упаковується" в послідовності блоків даних, інтервали часу між якими через затримки в підмережі при прийманні не повинні перевищувати певних меж. Для передавання мови безперервний сигнал перетворюється в послідовність бітів (приблизно зі швидкістю, не меншою за 8000 біт/с). Із потоку бітів вибирається послідовність блоків даних, яка передається через підмережу. Абонент, одержавши послідовність блоків, виконує перетворення у зворотному порядку, відновлюючи природну форму розмови.

Зауважимо, що, передаючи мову, можна використовувати її надлишковість в інформативному відношенні. Завдяки цьому частина запізнілих блоків даних може бути викинута без суттєвих спотворень мови. Так, дослідження фірми Bell показали, що при втраті до 10 % блоків розмова все ще має прийнятну якість.

Мережа з комутацією пакетів уповільнює процес взаємодії конкретної пари абонентів, але підвищує пропускну здатність мережі в цілому. Тут



доречна аналогія з мультипрограминими операційними системами. Кожна окрема програма в такій системі виконується довше, ніж у однопрограминих системі, коли програмі виділяється все процесорний час, поки її виконання не завершиться. Проте загальне число програм, що виконуються за одиницю часу, у мультипрограминій системі більше, ніж у однопрограминих.

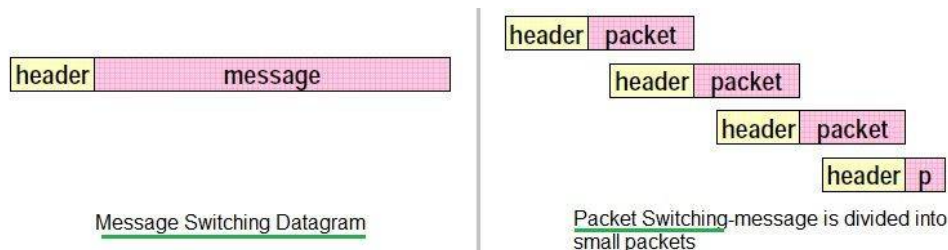


Рис.10. Порівняння комутації повідомлень і комутації пакетів

### Переваги комутації пакетів

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

### Недоліки комутації 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 у моменти миттєвих перевантажень мережі.
- Можливі втрати даних через переповнення буферів.

В даний час активно розробляються і впроваджуються методи, що дозволяють подолати зазначені недоліки, які особливо гостро виявляються для чутливого до затримок трафіку, потребує при цьому постійної швидкості передачі. Такі методи називаються методами забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS).

Мережі з комутацією пакетів, в яких реалізовані методи забезпечення якості обслуговування, дозволяють одночасно передавати різні види трафіку, в тому числі такі важливі як телефонний та комп'ютерний. Тому методи комутації пакетів сьогодні вважаються найбільш перспективними для побудови конвергентної мережі, яка забезпечить комплексні якісні послуги для абонентів будь-якого типу. Тим не менше, не можна скидати з рахунків і методи комутації каналів. Сьогодні вони не тільки з успіхом працюють в традиційних телефонних мережах, але і широко застосовуються для утворення високошвидкісних постійних з'єднань в так званих первинних (опорних) мережах технологій SDH і DWDM, які використовуються для створення магістральних фізичних каналів між комутаторами телефонних чи комп'ютерних мереж. У майбутнє цілком можлива поява нових технологій

комутації, в тому чи іншому вигляді комбінує принципи комутації пакетів і каналів.

Порівняння комутації каналів і комутації пакетів

Комутація каналів

- Гарантована пропускна здатність (смуга) для взаємодіючих абонентів
- Мережа може відмовити абоненту у встановленні з'єднання
- Трафік реального часу передається без затримок
- Адреса використовується тільки на етапі встановлення з'єднання

Комутація пакетів

- Пропускна здатність мережі для абонентів невідома, затримки передачі носять випадковий характер
- Мережа завжди готова прийняти дані від абонента
- Ресурси мережі використовуються ефективно при передачі пульсуючого трафіка
- Адреса передається з кожним пакетом.

Таблиця 1. Характеристики мереж з різним способом комутації

Функція мережі	Спосіб комутації		
	каналів	повідомлень	пакетів
Наявність електричного з'єднання	Тимчасова	Немає	Немає
Накопичення повідомлень	Немає	У зовнішньому запам'ятовуючому пристрої	Невеликі частини повідомлень у запам'ятовуючому пристрої
Можливість діалогу	Можливий	Неможливий	Неможливий
Організація тракту	На інтервал тривалості одного з'єднання	Для кожного повідомлення лише ЦКп	Для кожного пакета чи на час сеансу
Процес виникнення затримки	Основна затримка під час установа-лення з'єднань	Основна затримка під час передавання	Дуже малі затримки під час установа-лення з'єднань і передавання
Режим роботи мережі	З відмовами	З очікуванням	З очікуванням і відмовами
Режим перевантаження	З відмовами	Зростають затримки на доставку	Затримки на доставку значно менші, ніж у мережах з комутацією повідомлень. Імовірність відмов на порядок менша за ймовірність у разі комутації каналів
Режим захисту повідомлень	Виконується користувачем	Основні функції реалізуються в мережі	Основні функції реалізуються в мережі
Можливість перетворень швидкостей, кодів і форматів	Неможливі	Можливі	Можливі
Обсяг навантажень, за яких досягається економічність мережі	Малий	Великий	Великий



### 2.3. Змішана та інтегральна комутація

При змішаній комутації (рис. 11) використовуються рівні та процеси, що застосовуються як у комутації каналів (рис. 4), так і в комутації пакетів (рис. 9). Існуючі канали віддають, насамперед, для створення трактів, що з'єднують абонентські системи. Вільні канали не простоюють і використовуються для комутації пакетів. Природно, що в цьому разі у підмережі устанавлюються комбіновані вузли. Вони відіграють роль і комутаторів каналів, і комутаторів пакетів.

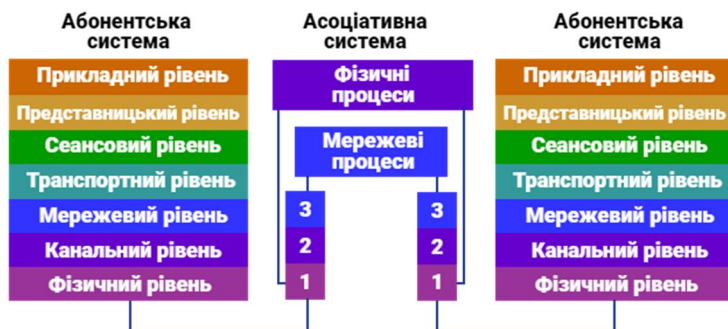


Рис.11. Схема змішаної та інтегральної комутації

Змішана комутація набуває широкого застосування для одночасного передавання по одних і тих самих групах каналів і даних, і мови. Одним з найважливіших науково-технічних напрямів у галузі електрозв'язку є створення інтегральних цифрових мереж зв'язку. Інтегральна мережа має об'єднати існуючі мережі передавання інформації, в першу чергу телефонні, телеграфні та мережі передавання даних, а потім включити у свій склад і мережі передавання зображень.

Необхідність побудови інтегральної мережі визначається потребою підвищення ефективності використання мережних ресурсів, забезпечення доступу користувачів до широкого набору послуг у рамках однієї мережі. Досвід експлуатації окремих мереж передавання інформації, дослідження вимог користувачів до послуг електрозв'язку показують, що засоби зв'язку як складова частина інфраструктури для суспільства можуть стати ефективними тільки за умови інтеграції всіх засобів електрозв'язку у вигляді єдиної системи.

Як і змішана, інтегральна комутація призначена для забезпечення передавання інформації із заданим і випадковим часом доставки блоків даних. Проте інтегральна комутація відрізняється від змішаної: у разі інтегральної комутації комутація каналів і комутація пакетів здійснюються одночасно в кожному фізичному каналі.

Для забезпечення інтегральної комутації в кожному такому каналі прокладається група віртуальних каналів. Будь-який з них працює так, що створюється враження, ніби пара взаємодіючих абонентських систем, яка використовує віртуальний канал, передає блоки даних за призначеним для них фізичним каналом.

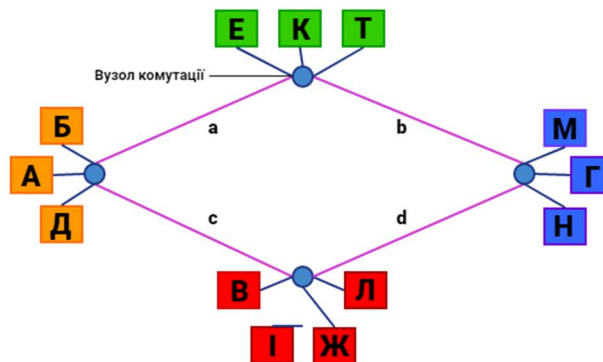
Інтегральна комутація інформації здійснюється різними способами, одним з яких є *асинхронне часове мультиплексування* (АЧМ). Суть цього способу наступна. Для кожного фізичного каналу мережі час поділяється на повторювані цикли (рис. 12). По каналу передаються розділювачі, кожен з

яких повідомляє про початок чергового циклу. Після цього в кожному циклі виділяються  $n$  інтервалів часу, потрібних для створення  $n$  віртуальних каналів (рис.13).



**Рис. 12.** Структура циклу асинхронного мультиплексування ( $t_{\text{ц}}$  - тривалість циклу)

Основою створення віртуальних каналів є часові інтервали. Так, інтервали "Канал 1" у послідовності циклів утворюють віртуальний канал 1, наданий парі абонентських систем. Аналогічно з інтервалів  $i$ , де  $i = 2, \dots, n$ , утвориться віртуальний канал  $i$ .



**Рис. 13.** Схема організації віртуальних каналів

Розглянемо приклад, показаний на рис. 1.26. У мережі є чотири магістральні канали  $a, b, c, d$ , що зв'язують чотири вузли (маршрутизатори). У цих каналах час розподілений на цикли, кожен з яких містить до чотирьох часових інтервалів.

**Таблиця 2 – Організація віртуальних каналів**

Номер каналу	Взаємодіючі абонентські системи	Віртуальні канали	Номер каналу	Взаємодіючі абонентські системи	Віртуальні канали
1	A-E	$a_1$	3	D-M	$c_i + d_i$
2	B-K	$a_2$	4	I-T	$d_2 + b_1$

Нехай потрібно організувати одночасно взаємодію чотирьох пар абонентських систем, відомості про які наведено в табл.2. Ця взаємодія має забезпечити роботу в режимі комутації каналів (у прозорому режимі). З цією метою в порядку надходження замовлень для системи A-E у фізичному каналі  $a$  у кожному циклі до закінчення сеансу взаємодії виділяється перший віртуальний канал (перший часовий інтервал), позначений  $a_1$ . Отже, система A-E одержує через кожні  $t_{\text{ц}}$  (див. рис.12) часовий інтервал для передавання блоків даних, тобто передавання інформації відбувається зі швидкістю  $p/t_{\text{ц}}$  блоків за секунду, де  $p$  - кількість блоків.

Аналогічно системам *Б-К* у тому самому каналі надається другий віртуальний канал  $a_2$ . Для системи *Д-М* виділяється послідовність, що складається з каналів  $c_i + d_i$ . Система *І-Т* одержує послідовність каналів  $d_2 + b_1$ .

Між системами, розташованими в мережі (рис.13), можливі й інші тракти взаємодії. Так, системи *А-Е* можуть взаємодіяти не тільки через фізичний канал  $a$ , але також через послідовність фізичних каналів  $c$ ,  $d$ ,  $b$ . Системи *Д-М* можуть зв'язуватись через фізичні канали  $a$  і  $b$ . По фізичних каналах, що з'єднують абонентські системи з вузлами комутації, також можуть передаватися повторювані цикли, показані на рис. 13. Тоді кілька прикладних процесів однієї системи можуть одночасно взаємодіяти з групою процесів інших абонентських систем.

Після того, як часові інтервали розподілені за запитами на комутацію каналів, здійснюється друга частина управління комутацією інформації. Часові інтервали, які залишилися, використовуються для передавання по черзі блоків даних, що направляються будь-якими абонентськими системами. Інакше кажучи, у ці часові інтервали здійснюється комутація пакетів. Так, у стані віртуальних каналів, показаному в табл.2, для комутації пакетів використовуються вільні ділянки. Природно, що картина запитів на комутацію каналів увесь час змінюється. Відповідно до цього змінюється і список часових інтервалів, що залишаються для комутації пакетів.

Отже, за інтегральної комутації уже фактично немає в класичному розумінні ні комутації каналів, ні комутації пакетів. Тут обидва види комутації злилися в один спосіб передавання інформації з гарантією або без гарантії часу доставки блоків даних.

Важливо відзначити, що для комутації інформації способами, розглянутими раніше, потрібна була наявність не менше трьох каналів у комунікаційній підмережі. *Що ж стосується інтегральної комутації, то вона може здійснюватися і за наявності в підмережі тільки одного фізичного каналу, наприклад моно-каналу.* Завдяки інтегральній комутації забезпечується передавання інформації будь-яких видів: даних, графіків, факсиміле, мови і навіть телебачення.

#### **2.4. Ретрансляція кадрів**

Ретрансляція кадрів (*Frame Relay*) визначається як служба пакетного режиму (*packet mode service*). Вона передбачає, що дані організуються в адресовані індивідуальним чином блоки, а не містяться у фіксованих часових слотах. Однак на відміну від технології комутації пакетів, ретрансляція кадрів цілком виключає будь-яку обробку на мережному рівні моделі взаємодії відкритих систем. Більше того, вона використовує лише частину функцій другого рівня – так звані основні аспекти, які містять вимогу повторного передавання у разі їх виявлення. Інакше кажучи, такі протокольні функції, як послідовна нумерація пакетів, контроль перевантаження за допомогою використання вікна передачі, функції підтвердження і передавання керуючих кадрів, у мережі *Frame Relay* не використовуються.

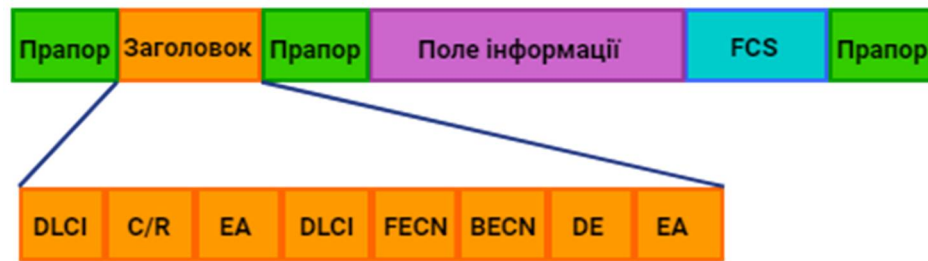


Рисунок 14. Структура кадру *Frame Relay* і формат заголовка для мереж ретрансляції кадрів: *FCS (Frame Check Sequence)* – перевірна послідовність кадру; *C/R (Command/Response)* – біт команда/відповідь; *EA (Extended Address)* – біт розширена адреса; *FECN (Forward Explicit Congestion Notification)* – біт повідомлення про явне перевантаження; *BECN (Backward Explicit Congestion Notification)* – біт повідомлення про перевантаження у зворотному напрямку; *DE (Discard Eligibility)* – біт вибіркове скидання

Однією з особливостей мережі *Frame Relay* є використання змінної довжини кадрів – від кількох до тисячі і більше символів. Цю властивість мають також і мережі з комутацією пакетів, що важливо для спільного функціонування мережі ретрансляції кадрів із джерелами, які потребують кадрів змінної довжини. Проте використання таких кадрів ускладнює передавання даних, які є чутливими до затримок, особливо до змінних. З цієї причини мережі *Frame Relay* не забезпечують якісного передавання мови і стиснутого відео зображення. Структуру кадру *Frame Relay* показано на рис. 14.

Заголовок кадру мережі ретрансляції кадрів містить десятибітовий номер-ідентифікатор з'єднання канального рівня *DLCI (Data Link Connection Identifier)*, який є номером віртуального з'єднання в цій мережі, що відповідає конкретному приймачеві. У разі міжмережної взаємодії типу *LAN (Local Area Network – корпоративна локальна мережа) - WAN (Wide Area Network – глобальна мережа передавання даних)* ідентифікатор *DLCI* позначає порт, до якого приєднана локальна мережа – приймач (рис. 15). Ідентифікатор *DLCI* уможливує відправлення даних з вузла по мережі усього за три кроки (рис.15).

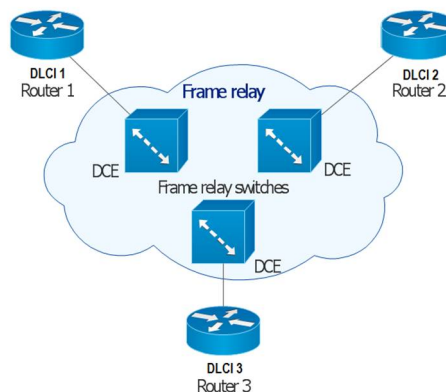


Рисунок 15 – Структура передавання в мережі ретрансляції кадрів

*Крок 1.* За допомогою перевірконої послідовності кадру *FCS* перевіряється його цілісність. Якщо виявлена помилка, то кадр скидається.

*Крок 2.* Виконується пошук ідентифікатора *DLCI* у таблиці. Якщо для даного каналу ідентифікатор *DLCI* не визначений, кадр скидається.

*Крок 3.* Кадр транслюється в напрямку до приймача за адресою, обумовленою таблицею маршрутизації.

Зазначимо, що вузол мережі ретрансляції кадрів здатний обробляти інформацію великого обсягу, як це має місце у разі застосування багатофункціональних протоколів, наприклад протоколів комутації пакетів.

Віртуальні канали в мережі ретрансляції кадрів – це постійні віртуальні канали (*Permanent Virtual Circuit - PVC*). Вони установлюються адміністративним оператором мережі через систему мережного управління, а не за командами користувача мережі, переданими у потоці звичайних даних. Канал *PVC* мережі ретрансляції кадрів, як правило, визначає з'єднання між двома мережами *LAN*. Новий віртуальний канал стає необхідним лише тоді, коли в мережу додається нова *LAN*. Отже, для мережі ретрансляції кадрів віртуальні канали *PVC* – саме той варіант, що зручний для багатьох допоміжних програмних продуктів.

У разі використання *Frame Relay* повторне передавання кадрів з метою усунення помилок здійснюється тільки по наскрізному каналу, тобто між кінцевими пристроями користувачів (функція виявлення і виправлення помилок винесена на межу мережі). Щоб не завантажувати канали передачею кадрів, в яких є помилки, на рівні ланки даних лише виявляються помилки і кадри, в яких вони виявлені, стираються. Зараз протокол *Frame Relay* використовується в багатьох пакетних мережах для забезпечення високошвидкісного передавання даних.

## **2.5. Швидка комутація пакетів і асинхронний режим перенесення інформації.**

Основною ідеєю *швидкої комутації пакетів* є пакетна комутація з мінімумом функцій, виконуваних вузлами комутації на рівні ланки для підвищення часової прозорості мережі.

Найменування "асинхронний режим перенесення інформації" – *ATM* (*Asynchronous Transfer Mode*) рекомендовано МСЕ. Крім аббревіатури *ATM* у науково-технічній літературі використовуються терміни "асинхронний режим доставки" та "асинхронний режим перенесення". Іноді зустрічаються й інші терміни: *ATD* (*Asynchronous Transfer Division*) – асинхронний режим часового ущільнення, *FPS* (*Fast Packet Switching*) – швидка комутація пакетів. Зважаючи на те, що термін *ATM* рекомендований МСЕ, в науково-технічній літературі він використовується найчастіше.

Вибираючи фіксовану або змінну довжину пакета для *ATM*, враховують такі основні фактори:

– ефективність використання пропускної здатності цифрових трактів зв'язку;

- досягнення високої продуктивності комутаційного устаткування, точніше кажучи, досягнення компромісу між швидкістю комутації і складністю реалізації комутаційних пристроїв;
- тривалість затримки пакета.

У загальному випадку ефективність використання пропускної здатності цифрових трактів зв'язку із застосуванням пакетів змінної довжини дещо вища, ніж із застосуванням пакетів постійної довжини. Однак ця перевага, не є визначальною. Варіант із пакетами постійної довжини кращий як за швидкістю роботи комутаційного устаткування, так і за обсягом буферного простору.

*Експерти МСЕ зробили висновок про доцільність використання пакетів фіксованої довжини. Щоб підкреслити, що йдеться саме про прийняту фіксовану довжину, термін "пакет" змінили на "комірка" (cell).*

Після прийняття рішення про використання пакетів постійної довжини потрібно було вибрати інший розмір. На вибір довжини комірки вплинуло кілька факторів, а саме: ефективність використання пропускної здатності цифрових трактів; затримки при заповненні пакета інформацією користувача (під час пакетування), у черзі, на депакетуванні, а також коливання цих затримок (джиттер); умови реалізації.

Європейські вчені виступали за розмір комірки 32 октети (32 x 8 двійкових розрядів) для усунення ехо-загороджувачів під час передавання мови, а вчені США і Японії запропонували комірку розміру 64 октети для досягнення ефективнішого використання цифрових трактів. Був досягнутий компроміс, і за довжину комірки прийняли 53 октети.

## Лекція 5-6. Комутаційні пристрої. Побудова комутаційних блоків на основі комутаційних пристроїв.

### 1. Основи побудови просторових комутаційних блоків.

Для здійснення комутації (з'єднання) ліній (або каналів) і управління процесами встановлення з'єднання застосовуються комутаційні пристрої.

**Комутаційним пристроєм** називається пристрій, що забезпечує замикання, розмикання або перемикавання електричних кіл, підключених до його входів і виходів, під час надходження на цей пристрій керуючого сигналу.

Замикання, розмикання і перемикавання електричних кіл в комутаційному пристрої здійснюється **комутаційним елементом (КЕ)**, який в найпростішому випадку є одним контактом на замикання.

До комутаційного пристрою можуть підключатися лінії з різною кількістю провідників (двох-, трьох- і т.д. провідні), тому їх комутація здійснюється декількома КЕ, з'єднаними в **комутаційну групу**, комутаційні елементи якої перемикаються одночасно під дією поступаючого управляючого сигналу. В комутаційному пристрої, залежно від його конструкції може бути встановлено різне число комутаційних груп.

**Точка комутації** – місцезнаходження комутаційної групи в комутаційному пристрої.

**Комутатор комутаційного поля** - сукупність точок комутації, що забезпечують з'єднання входу з виходом через одну точку комутації.

**Ланка комутації** - група комутаторів, що забезпечують одну і ту ж функцію в комутаційній станції.

**Комутаційний блок** - частина ступені пошуку, сукупність точок комутації, що обслуговують певну групу входів.

**Ступінь пошуку** - частина комутаційної станції, що реалізовує один вид пошуку.

**Комутаційне поле** - сукупність комутаційних приладів всіх ступенів шукання станції.

**Комутаційна станція** - сукупність технічних засобів, що забезпечує комутацію абонентських і з'єднувальних ліній і каналів при здійсненні кінцевих і транзитних з'єднань у комутуваній (вторинній) мережі зв'язку.

Комутаційні пристрої розрізняються між собою структурними і електричними параметрами, обумовленими їх конструкцією.

До **структурних** параметрів відносяться:

- число входів  $n$ ,
- число виходів  $m$ ,
- доступність  $D$  входів по відношенню до виходів,
- провідність комутувананих ліній  $l$ ,
- властивість пам'яті.

Похідними від цих параметрів є загальне число точок комутації  $T$ , число комутаційних груп і число комутаційних елементів, а також максимальне число одночасних з'єднань.



До *електричних* параметрів комутаційних приладів відносяться:

- опір комутаційного елемента в розімкненому (закритому) стані  $R_3$ , і замкнутому (відкритому) стані  $R_0$ , відношення яких називається

$$K = \frac{R_3}{R_0};$$

комутаційним коефіцієнтом

- час перемикання КЕ з одного стану в інший;
- затухання, що вноситься, в розмовний тракт;
- рівень шумів;
- напруга живлення;
- величина струму, необхідного для перемикання КЕ;
- споживана потужність.

Комутаційні пристрої характеризуються також терміном служби або довговічністю, під якими розуміється допустиме число перемикань або допустимий час роботи, і інтенсивністю відмов (пошкоджень), тобто ймовірністю відмов в одиницю часу.

Деякі комутаційні пристрої володіють властивістю пам'яті, тобто здатністю зберігати робочий стан після припинення дії керуючого сигналу. Це дозволяє скоротити витрату електроенергії для підтримки робочого стану пристрою. Для повернення пристрою в початковий стан потрібна нова дія керуючого сигналу.

Комутаційний коефіцієнт для керуючих пристроїв складає  $10^9$ - $10^5$ . Комутаційний коефіцієнт для передачі телефонних розмов –  $10^9$ - $10^{12}$ .

Комутаційні пристрої по *структурних* параметрах, що використовуються в даний час, можна розділити на чотири типи.

1. Комутаційні пристрої типу **(1x1)**, що мають один вхід і один вихід. Число входів і виходів приладу вказується в круглих дужках, де перша цифра - число входів  $n$ , а друга - число виходів  $m$ . Пристрій має два стани, в одному з яких з'єднання між входом і виходом відсутнє, а в іншому - з'єднання встановлено. Перехід комутаційного елемента (або комутаційної групи) з одного стану в інший здійснюється під впливом сигналу, що поступає на управляючий вхід з пристрою управління.

2. Комутаційні пристрої типу **(1xm)**, що мають один вхід  $n=1$  і  $m$  виходів. В приладі можна встановити з'єднання входу з будь-яким з  $m$  виходів, отже, доступність приладу  $D=m$ . Одночасно в приладі може бути встановлено тільки одне з'єднання.

3. Комутаційні пристрої типу **n(1xm)**, що мають  $n$  входів і  $nm$  виходів. Кожному входу з  $n$  доступно тільки  $m$  певних виходів, отже, доступність приладу  $D=m$  із загального числа виходів  $nm$ . В пристрої одночасно може бути встановлено  $n$  з'єднань.

4. Комутаційні пристрої типу **(nxt)**, що мають  $n$  входів і  $m$  виходів. Кожному з  $n$  входів доступний будь-який з  $m$  виходів, отже,  $D=m$ . В пристрої одночасно може бути встановлено  $n$  з'єднань, якщо  $n < m$  або  $m$  з'єднань, якщо  $n > m$ .



За допомогою комутаційних пристроїв будуються **комутаційні блоки**, ступені пошуку і комутаційне поле автоматичних телефонних станцій і вузлів, керуючі пристрої, лінійні і службові комплекти.

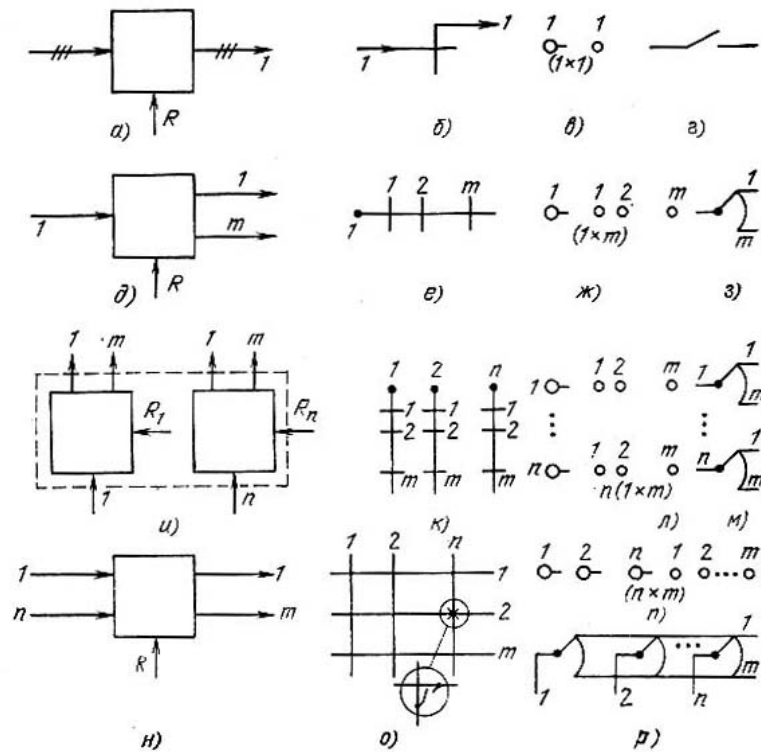


Рис. 1. Типи комутаційних пристроїв і їх умовні позначення: а) – г) пристрій типу (1X1); д) – з) пристрій типу (1Xm); и) – м) пристрій типу n(1Xm); н) – р) пристрій типу (nXm).

## 2. Побудова комутаційних полів.

Основними видами обладнання, що визначають структуру комутаційного вузла, є **комутаційне поле** КП і **керуючий пристрій** КПр. Рациональна побудова КП і КПр дозволяє при мінімальних затратах обладнання забезпечити необхідну якість обслуговування викликів. Спосіб побудови КП вузла в значній мірі впливає на структуру КПр, які, у свою чергу, можуть вплинути на вибір оптимального варіанту побудови КП.

Комутаційні схеми, що використовуються у вузлах зв'язку, відрізняються ємністю, яка визначається числом вхідних N і вихідних M каналів (або ліній), способом розділення каналів, типом комутаційних пристроїв, що використовуються для комутації каналів, режимом шукання, структурою побудови (число ступенів або ланок комутації), пропускну здатністю і втратами повідомлень. Комутаційні поля можуть будуватися з використанням як одного принципу розділення каналів, наприклад просторового, так і одночасно декількох принципів, зокрема тих, які застосовуються в системах передачі.

Найбільше поширення набули КП з просторовим розділенням ущільнених часових групових трактів.

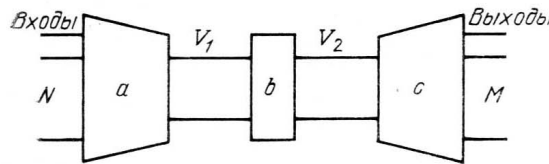


Рис. 2 Структурна схема комутаційного поля вузла.

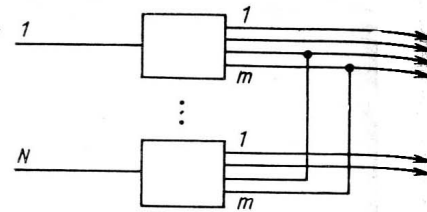


Рис. 3 Комутаційний блок.

Комутаційне поле вузла будується звичайно з окремих частин. На рис. 2 показане КП, що складається з трьох частин (а, б, в), в якому здійснюється з'єднання  $N$  входів з  $M$  виходами через внутрішньостанційні лінії  $V_1$  і  $V_2$ . У входи і виходи КП включають відповідно вхідні і вихідні лінії чи цифрові групові тракти.

В першій частині КП (а) здійснюється перехід від великого числа входів (наприклад, абонентних ліній)  $N$  з малим їх використанням до меншого числа внутрішньостанційних ліній  $V_1$  з більш високим використанням, оскільки вони є лініями колективного використання для всіх  $N$  входів і надаються їм при необхідності у встановленні з'єднання. В наступній частині КП (б) внутрішньостанційні лінії  $V_1$  комутуються з  $V_2$  і в останній частині КП (в) здійснюється перехід від  $V_2$  внутрішньостанційних ліній до необхідного числа виходів  $M$ . Співвідношення між числом ліній наступне:

$$N > V_1; V_1 \approx V_2; V_2 < M.$$

Окремі частини КП одночасно з комутацією ліній можуть здійснювати ще і додаткові функції, наприклад, частина КП (а) виконує функцію **стиснення** (концентрації), а частина (в) - функцію **розширення**. Частина (б) в деяких випадках також може виконувати функції стиснення або розширення залежно від розрахункового числа ліній  $V_1$  і  $V_2$ , які повинні бути в неї включені.

Необхідно зазначити, що залежно від призначення комутаційного вузла КП може будуватися без стиснення і розширення, тільки із стисненням або тільки з розширенням. Причиною розділення КП на окремі частини може бути не тільки відмінність комутаційних функцій що виконуються, але і способів встановлення з'єднання. Якщо на кожній з наведених на рис. 2 частин КП з'єднання встановлюється незалежно від наявності з'єднувальних шляхів до необхідного виходу в наступних частинах КП, вказані частини КП є **ступенями шукання**. Ступені шукання, у свою чергу, складаються із з'єднаних між собою однотипних комутаційних блоків. Під **комутаційним блоком (КБ)** розуміють сукупність комутаційних приладів, що мають всі або частину спільних виходів (рис. 3).

Відповідним об'єднанням входів або виходів комутаційних пристроїв можна одержати комутаційні блоки з необхідними параметрами для побудови КП або його окремих частин. Для з'ясування принципу побудови КП вузла з окремих частин і комутаційних блоків розглянемо способи побудови комутаційних блоків різної структури.

### 3. Структурні параметри багатоланкових комутаційних блоків.

Комутаційні блоки характеризуються наступними структурними параметрами:

- числом входів і виходів  $N \times M$  ;
- числом проміжних ліній  $v$  ;
- доступністю входів по відношенню до виходів  $D$  ;
- числом точок комутації при встановленні в блоці з'єднання між входом і виходом, тобто числом ланок з'єднання  $z$  ;
- загальним числом точок комутації для побудови блоку  $Nx$  ;
- провідністю ліній, комутуваних в блоці;
- числом одночасних з'єднань в блоці.

Структурні параметри багатоланкових комутаційних блоків розглянемо на прикладі дволанкової схеми:

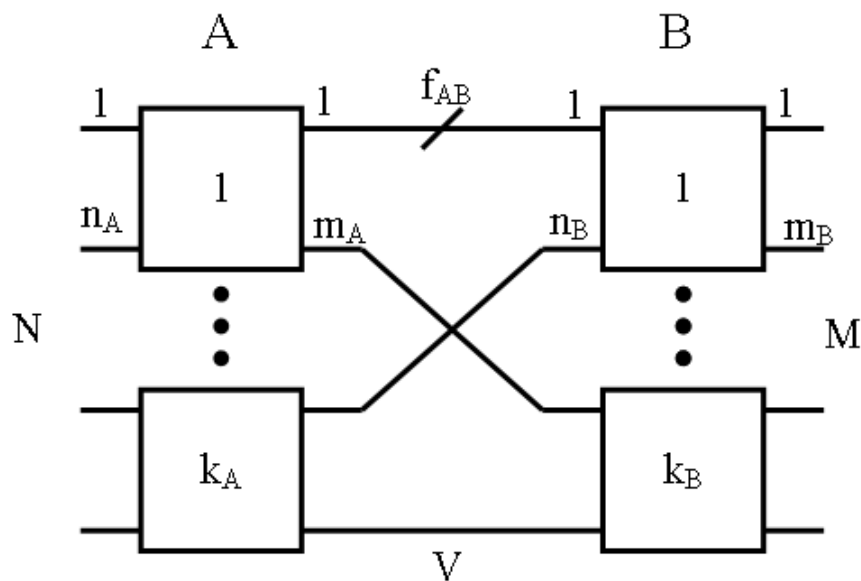


Рис. 4. Дволанкова комутаційна схема і її структурні параметри.

$N, M$  – загальна кількість входів, виходів;

$n_A, m_A, k_A$  - кількість входів, виходів і комутаторів ланки А;

$f_{AB}$  - зв'язність – кількість ПЛ між комутатором ланки А і В;

$V$  – кількість проміжних ліній;

Коефіцієнт концентрації/розширення:  $\sigma_A = m_A / n_A$ ,  $\sigma_B = m_B / n_B$ ,  $\sigma = M / N$  ;

Загальна кількість входів/виходів:  $N = n_A * k_A$   $M = m_B * k_B$

Кількість проміжних ліній  $V = m_A * k_A = n_B * k_B$

Кількість входів комутатора ланки В  $n_B = k_A * f_{AB}$

Кількість комутаторів ланки В  $k_B = m_A / f_{AB}$

В більшості випадків кількість входів і виходів комутаторів, на яких будується блок, є однаковою, тому схема максимально спрощується і кількість різних параметрів суттєво зменшується.

Для неповнодоступного включення виходів використовується додатковий параметр – доступність  $D$ . Доступність – це кількість виходів, доступна входу.

#### 4. Побудова комутаційних блоків на основі комутаційних пристроїв.

Комутаційні блоки можна будувати на комутаційних пристроях різних типів.

Об'єднуючи певним чином входи і виходи комутаційних пристроїв, можна одержати комутаційні блоки, що володіють тими або іншими структурними параметрами. Від структурних параметрів і їх співвідношення залежать пропускна здатність блоку і втрати повідомлень, які можуть мати місце при встановленні з'єднання через даний блок.

При побудові комутаційних блоків з необхідними структурними параметрами з окремих комутаційних пристроїв можуть виконуватися наступні операції:

- об'єднання входів,
- об'єднання виходів,
- послідовне з'єднання комутаційних приладів, тобто вихід одного комутаційного пристрою з'єднується з входом іншого.

Комутаційні блоки можуть бути побудовані з використанням одночасно декількох операцій. Іноді необхідні комутаційні блоки можна одержувати, виконуючи операції з входами і виходами одного комутаційного пристрою.

В комутаційному блоці включення виходів по відношенню до входів може бути *повнодоступним* або *неповнодоступним*.

*Повнодоступним* включенням називається таке, при якому будь-який вхід блоку може бути сполучений з будь-яким вільним виходом. Якщо вхід можна з'єднати тільки з частиною певних виходів блоку, то таке включення називається *неповнодоступним*. Число виходів блоку, з якими вхід блоку може встановити з'єднання, називається *доступністю*  $D$ .

Розглянемо докладніше утворення блоків за допомогою вказаних операцій.

##### **Об'єднання входів.**

Комутаційні блоки (і їх умовні зображення), одержані шляхом об'єднання (запаралелювання) входів декількох комутаційних пристроїв того або іншого типу, показані на рис. 5. При об'єднанні входів двох пристроїв типу  $(1 \times 1)$  (рис. 5, а-г) одержуємо комутаційний блок типу  $[1 \times 2]$ , в якому входу будуть доступні вже два виходи ( $D = 2$ ). Параметри КБ позначатимемо в квадратних дужках, де перша цифра означає число входів, а друга — число виходів. Об'єднуючи входи декількох комутаційних приладів, можна одержувати комутаційний блок з необхідним числом виходів і необхідною доступністю.

При об'єднанні входів двох комутаційних приладів типу  $(1 \times m)$  одержимо КБ типу  $[1 \times 2m]$  (рис. 5 д – з), в якому вхід має доступ до  $2m$  виходів ( $D = 2m$ ).

Об'єднуючи однойменні входи у двох пристроїв типу  $n(1 \times m)$ , одержуємо КБ типу  $[n(1 \times 2m)]$  (рис. 5, і - м), в якому кожний вхід має доступ до певних  $2m$  виходів ( $D = 2m$ ). Якщо в комутаційному пристрої типу  $n(1 \times m)$  об'єднати всі  $n$  входів, то одержимо КБ типу  $[1 \times nm]$ , де входу будуть доступні всі  $nm$  виходів ( $D = nm$ ).

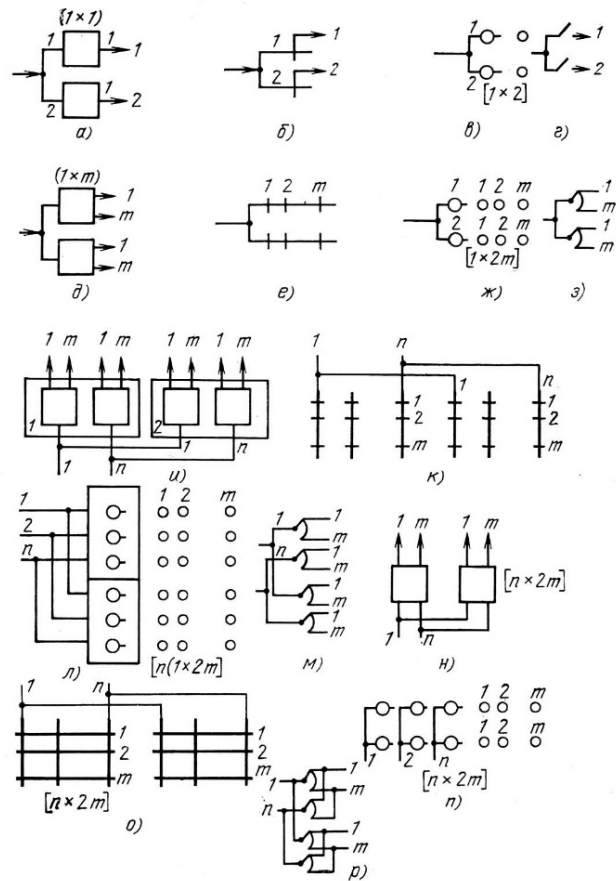


Рис. 5. Комутаційні блоки, одержані шляхом об'єднання входів, і їх умовні зображення: а) - г) - блок  $[1 \times 2]$ ; д) - з) - блок  $[1 \times 2m]$ ; і) - м) - блок  $[n(1 \times 2m)]$ ; н) - р) - блок  $[n \times 2m]$ .

Об'єднуючи однойменні входи у двох комутаційних пристроїв типу  $(n \times m)$ , одержуємо КБ типу  $[n \times 2m]$ , в якому кожен вхід має доступ до  $2m$  виходів ( $D=2m$ ).

Аналізуючи структуру комутаційних блоків, одержаних шляхом об'єднання входів відповідних комутаційних пристроїв, можна зробити висновок, **що об'єднання входів призводить до збільшення виходів в порівнянні з числом виходів комутаційного пристрою і збільшення доступності  $D$  входів по відношенню до виходів**. Отже, для отримання КБ необхідної доступності за допомогою комутаційних пристроїв, що володіють меншою доступністю, слід проводити об'єднання входів у відповідного числа комутаційних пристроїв. Слід відмітити, що збільшення числа виходів і доступності  $D$  шляхом об'єднання входів вимагає збільшення об'єму обладнання, тобто збільшення числа комутаційних пристроїв.

### Об'єднання виходів.

На рис. 6 показана операція об'єднання (запаралелювання) виходів у декількох комутаційних пристроїв відповідного типу для отримання КБ з необхідними параметрами. Об'єднуючи виходи в групі із  $k$  комутаційних пристроїв, одержуємо комутаційний блок, в якому входи всіх комутаційних пристроїв мають доступ до однієї і тієї ж групи виходів. При цьому

максимальне число одночасних з'єднань в такому блоці визначається числом виходів  $m$ , якщо  $k > m$ , або числом входів  $k$ , якщо  $k < m$ .

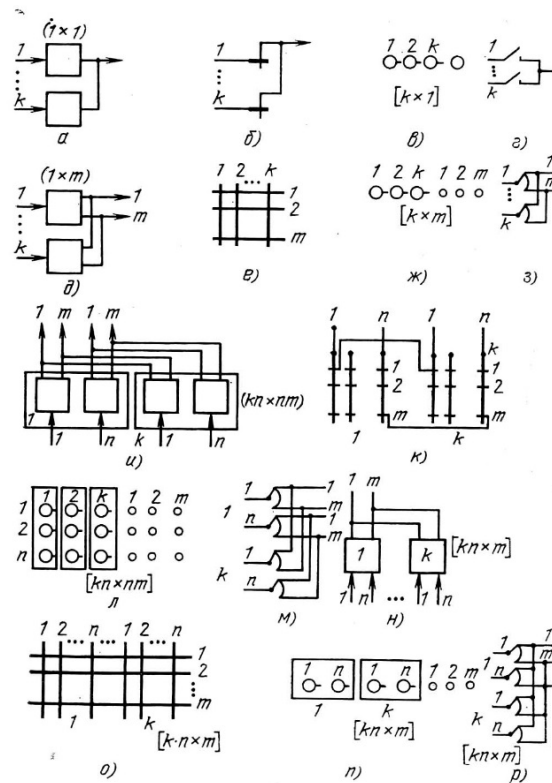


Рис. 6. Комутаційні блоки, одержані шляхом об'єднання виходів: а)–г) - блок  $[kX1]$ ; д)–з)-блок  $[kXm]$ ; і)–м)-блок  $[knXnm]$ ; н)–р) – блок  $[knXm]$ .

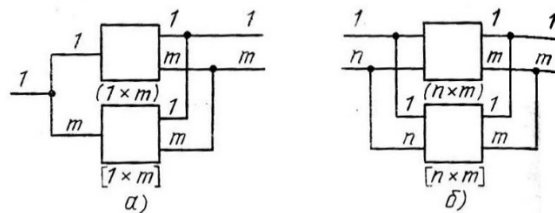


Рис. 7. Комутаційні блоки із з'єднаними входами і виходами: а) блок  $[1Xm]$ ; б) блок  $[nXm]$

Із  $k$  пристроїв типу  $(1X1)$  одержуємо КБ типу  $[kX1]$  (рис. 6, а-г); із  $k$  пристроїв типу  $(1Xm)$  - КБ типу  $[kXm]$  (рис. 6, д-з); із  $k$  пристроїв типа  $n(1xm)$  - КБ типу  $[km(nm)]$  (рис. 6, і-м); і з  $k$  пристроїв типа  $(nXm)$  – КБ  $[knXm]$  (рис. 6, н-р).

В розглянутих комутаційних блоках (див. рис. 5 і 6) з'єднання між входами блоків і виходами здійснювалося через одну комутаційну точку (комутаційний елемент або комутаційну групу), тому такі КБ називаються одноланковими, оскільки між входом і виходом при встановленні з'єднання є одна ланка комутації.

На рим. 7 показані комутаційні блоки, одержані шляхом об'єднання входів і виходів декількох комутаційних пристроїв. Таке об'єднання може бути викликано необхідністю підвищення надійності КБ за рахунок паралельного

з'єднання входу з виходом через різні комутаційні пристрої. Якщо перший комутаційний пристрій несправний, то з'єднання може бути здійснено через другий прилад, причому залежно від способу забезпечення надійності можуть одночасно працювати обидва пристрої або тільки один, а другий тільки в тому випадку, якщо перший виявиться несправним.

### Послідовне з'єднання.

Комутаційні блоки можуть бути побудовані шляхом послідовного з'єднання виходів одних комутаційних пристроїв з входами інших, як це показано на рис. 8. При послідовному з'єднанні двох пристроїв типу  $(1 \times m)$  одержимо комутаційний блок типу  $[1 \times v \times m]$ , в якому входу буде доступно  $m^2$  виходів. В цьому блоці між входом і виходом буде дві точки комутації, одна в ланці А і друга в ланці В (рим. 8,а, де  $v$  — проміжні лінії (ПЛ) між ланками А і В). Доступність даного блоку збільшується в порівнянні з доступністю комутаційних пристроїв, на яких блок реалізований. В нашому випадку доступність КБ  $D=m^2$  при доступності пристроїв  $D=m$ . Аналогічно при послідовному з'єднанні комутаційних пристроїв типів  $(n \times m)$  і  $(1 \times m)$  одержуємо КБ типа  $[n \times v \times m^2]$ , в якому кожний вхід має доступ до будь-якого з  $m^2$  виходів.

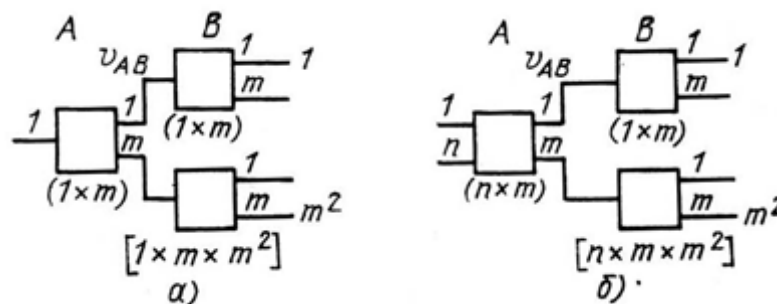


Рис. 8. Двохланкові комутаційні блоки: а) - блок  $[1 \times m \times m^2]$ ; блок  $[n \times m \times m^2]$ .

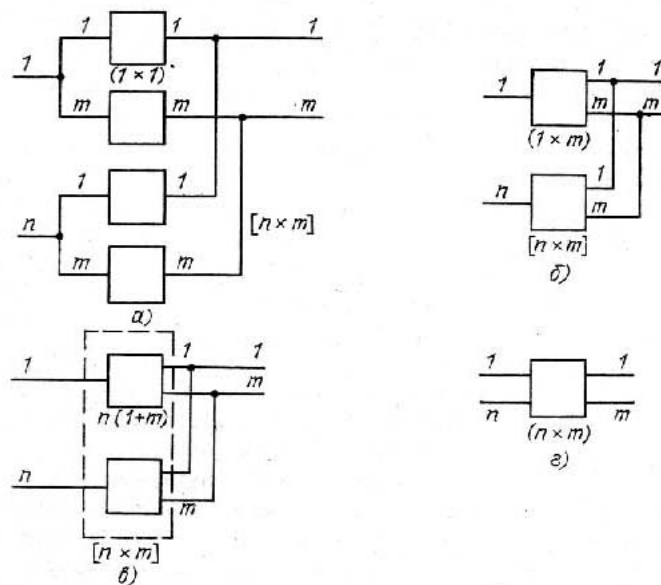
Комутаційні блоки такого типу одержали назву двухланкових блоків, а місце розташування комутаційних елементів в таких блоках називається ланкою комутації (з'єднання) або просто ланкою, які на схемах блоків позначаються буквами: ланка А і ланка В (в деяких літературних джерелах замість терміну «ланка» вживають термін «каскад»). В такому блоці окрім входів і виходів з'явилися ПЛ між пристроями ланок А і В. Тому при вказуванні типу блоку  $[n \times v \times m]$  його характеризують трьома параметрами:  $n$  — числом входів,  $v$  — числом проміжних ліній і  $m$  — числом виходів. Відповідно до цього двухланковий блок (рис. 8, б) матиме наступні структурні параметри  $[n \times v \times m]$ , де  $v = m$ .

При побудові двухланкового КБ можна використовувати операції не тільки послідовного з'єднання комутаційних пристроїв, але і об'єднання виходів.

Із порівняння схем рис.5 і 8 видно, що збільшується число виходів і доступність, але в першому випадку це досягається об'єднанням входів, а в другому — послідовним з'єднанням комутаційних пристроїв.

Для отримання КБ з необхідними структурними параметрами можна використовувати в ланках А і В різні комутаційні пристрої. При цьому КБ порівнюються між собою по числу точок комутації, які пропорційні об'єму комутаційного обладнання, або за сумарною вартістю блоків.

Комутаційні блоки можна будувати і на більше число ланок, з'єднуючи послідовно виходи попередньої ланки з входами наступної. З окремих комутаційних блоків можна будувати складніші КБ необхідної структури для побудови окремих частин або всього комутаційного поля вузла. Найпростішим комутаційним блоком є одноланковий повнодоступний блок, в якому будь-який вхід має доступ до будь-якого виходу. Такий блок називається комутатором. За допомогою комутаторів можна будувати КБ з необхідними структурними параметрами, використовуючи операції об'єднання входів і виходів і послідовного з'єднання.



Мал. 9. Схеми комутаторів  $[n \times m]$ :

**Комутатор** є блоком типу  $(n \times m)$  і може бути побудований на комутаційних пристроях будь-якого типу об'єднанням входів і виходів, як це показано на рис. 3.7. Для побудови комутатора на  $n$  входів і  $m$  виходів за допомогою комутаційного пристрою типу  $(1 \times 1)$  потрібно  $nm$  пристроїв. Для утворення  $n$  входів у кожній групі з  $m$  пристроїв об'єднуються входи. Одноіменні виходи всіх груп об'єднуються для отримання  $m$  спільних виходів з блоку (рис.9,а). Для отримання комутатора за допомогою пристроїв типу  $(1 \times m)$  буде потрібно  $n$  пристроїв, у яких слід об'єднати виходи, як це показано на рис. 9,б. Комутатор на пристроях типу  $n(1 \times m)$  можна отримати шляхом об'єднання однойменних виходів. Отже, комутатор на  $n$  входів і  $m$  виходів може бути виконаний на одному пристрої (рис. 9, г). Комутаційний пристрій типу  $(n \times m)$  є одночасно комутатором (рис. 9,г).



# ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ ТМЗК

## 1. Телефонна мережа загального користування

**Мережа зв'язку (МЗ)** – це сукупність усіх систем, засобів і пристроїв зв'язку, що забезпечують передачу інформації. Це складна, багатофункціональна система, що постійно розвивається і відновлюється.

У загальному випадку елементами мереж зв'язку є:

а) **Абонентські термінали (АТ)**, що забезпечують взаємодію користувачів з мережею по введенню, виведенню і первинній обробці повідомлень. АТ перетворюють інформацію споживача в сигнали зв'язку і розміщуються в *кінцевих пунктах (КП)*, що можуть бути стаціонарними або рухомими (мобільними).

б) **Вузли зв'язку**, що містять пристрої комутації, або переключень, які розподіляють повідомлення між споживачами по різних напрямках зв'язку. Узли зв'язку роблять звичайно стаціонарними, але вони можуть бути і пересувними. Розрізняють *комутаційні та мережеві узли зв'язку*. Основна відмінність їх у тому, що комутаційні забезпечують короткочасне з'єднання (комутацію) каналів, а мережні довгострокове (т.з. назване кросове з'єднання). Комутаційні узли, у які включені абонентські термінали, називаються *комутаційними станціями*.

в) **Направляючі системи** (лінії зв'язку), що надають шляхи передачі повідомлень у мережі електрозв'язку.

г) **Системи передачі (СП)**, що забезпечують передачу і прийом повідомлень по направляючих системах.

д) **Системи керування мережею**, що виконують функції короткострокового планування мереж і контролю за їхньою роботою.

Крім перерахованих вище основних елементів будь-яка мережа електрозв'язку містить різноманітне додаткове устаткування, що забезпечує електроживлення, захист, синхронізацію, аварійну сигналізацію, виміри і тестування, тарифікацію й ін. функції.

Традиційно розрізняють наступні види мереж загального користування: міські, сільські, зонові і міжміські.

**Міські телефонні мережі (МТМ)** забезпечують зв'язок на території більш чи менш великого міста і його передмість.

**Сільські телефонні мережі (СТМ)** забезпечують телефонний зв'язок в межах сільських адміністративних районів. Мережі цих двох видів об'єднує спільна назва – *місцеві телефонні мережі*.

**Зонові телефонні мережі** – це комплекс споруд, що призначені для зв'язку між абонентами декількох місцевих телефонних мереж, розташованих на території одної телефонної зони. В такій зоні використовується єдина семизначна зонава нумерація. Території телефонних зон часто співпадають з територіями областей чи інших адміністративних утворень.

**Міжміська телефонна мережа** – це комплекс споруд, які призначені для зв'язку між абонентами місцевих телефонних мереж, розташованих на території різних телефонних зон.

Всі названі вище мережі разом утворюють **телефонну мережу загального користування (ТМЗК)**.

Обов'язкова вимога до ТМЗК – повна зв'язність між всіма місцевими, національними і регіональними телефонними мережами. Більш того, мережа передбачає, щоб будь-який абонент міг з'єднатися з будь-яким іншим абонентом, отримуючи на національному і регіональному рівнях можливість передачі даних, їх комутації і захисту.

Крім ТМЗК, існують також **відомчі, корпоративні** телефонні мережі, які забезпечують внутрішній телефонний зв'язок підприємств, відомств, корпорацій, організацій. Такі мережі можуть бути і повністю автономними, але частіше за все вони мають доступ до телефонної мережі загального користування. Модель української телефонної мережі загального користування показано на рис. 1.

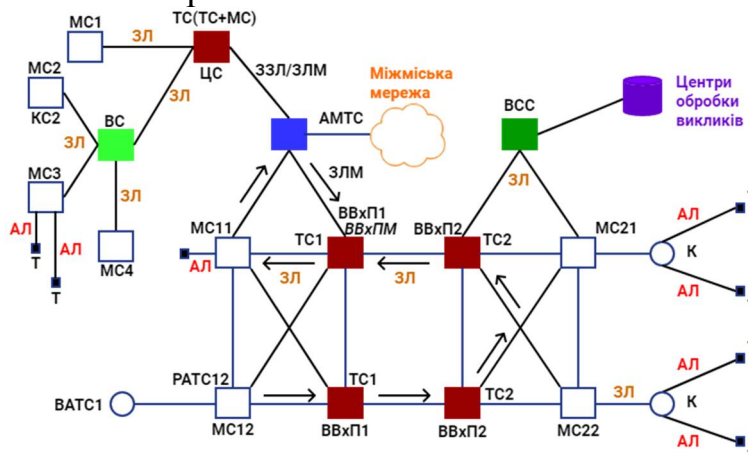


Рис. 1. Модель української ТМЗК

АЛ – абонентська лінія	ЗЛМ – з'єднувальна лінія міжміського зв'язку
АМТС – автоматична міжміська телефонна станція	К - концентратор
ВАТС – відомча АТС	КС – кінцева станція
ВВП – вузол вихідного повідомлення	МС – місцева станція
ВВхП – вузол вхідного повідомлення	МТМ – міська телефонна мережа
ВВхПМ – вузол вхідного повідомлення міської мережі	РАТС – районна АТС
ВС – вузлова станція	СТМ – сільська телефонна мережа
ВСП – вузол сільсько-приміського зв'язку	Т – термінал
ВСС – вузол спецслужб	ТА – телефонний апарат
ЗЗЛ – заказна з'єднувальна лінія	ТС – транзитна станція
ЗЛ – з'єднувальна лінія	ЦС – центральна станція

## 2. Первинна та вторинні мережі.

*Первинною* мережею (транспортною) називається сукупність направляючих систем, систем передачі, мережних вузлів і мережних станцій, що забезпечує утворення типових каналів і мережних трактів і надання їх вторинним МЗ і окремим користувачам.

Умовно МЗ розподіляється на первинну МЗ, яка об'єднує ЛЗ та СП, та вторинну МЗ, яка будується на базі первинної.

На базі єдиної первинної мережі створюються окремі вторинні мережі, призначені для організації різних видів зв'язку. Будь-яка мережа, побудована на базі каналів первинної мережі, може бути названа *вторинною* мережею.

### 2.1. Транспортна мережа (первинна)

Структура транспортної мережі враховує адміністративний розподіл країни. Територія країни поділена на телефонні зони. Ознака зони – єдина 7-значна нумерація. Як правило зони співпадають з територіями областей. Відповідно до цього розподілу ТМ складається з окремих частин:

*місцеві ТМ* - обмежені територією міста або сільського району;

*внутрішньозонові ТМ* - охоплює територію зони і забезпечує з'єднання місцевих мереж всередині зони;

*магістральна ТМ* - сполучає зонові мережі.

Місцеві транспортні мережі в даний час, створюються операторами ТМЗК і кабельного телебачення (КТБ). В деяких випадках місцеві транспортні мережі організовуються за рахунок систем супутникового зв'язку.

В транспортній мережі іноді виділяють два види МВ (мережевих вузлів), які розрізняють за функціями, що вони виконують. Якщо в МВ здійснюється напівпостійна комутація каналів і трактів, то їх називають мережевими вузлами перемикання. Деякі МВ здійснюють тільки виділення каналів і трактів із загального пучка ліній передачі. Такі МВ називають мережевими вузлами виділення каналів.

Типовий приклад МВ перемикання – ЦКВ (Цифровий комутаційний вузол, DXC, Digital Cross Connect). Окрім ЦКВ в транспортних мережах широко використовується мультиплексор виділення каналів (МВК або Add-Drop Multiplexer (ADM)). МВК можна розглядати як хороший приклад МВ виділення каналів.

ЦКВ і МВК відносяться до класу цифрових МВ. Транспортні мережі також можуть містити аналогові МВ, які поступово замінюються сучасними ЦКВ і/або МВК.

Як лінії передачі МТМ і СТМ можуть застосовуватися тракти, утворені аналоговими і цифровими системами передачі. Ці системи передачі – стосовно МТМ і СТМ – зараз використовують практично всі відомі середовища поширення сигналів. В перспективі транспортні мережі розвиватимуться за рахунок використання ЦСП (цифрових систем передавання), що відносяться

до класу синхронної цифрової ієрархії (СЦІ, SDH). Для кабелів зв'язку найперспективнішим середовищем розповсюдження сигналів вважається ОВ.

## 2.2. Комутовані (вторинні) мережі.

Кожна мережа зв'язку крім технічних засобів первинної мережі використовує пристрої, властиві цій мережі. *Вторинна мережа (ВМ)* - сукупність технічних засобів, що забезпечують передачу інформації певного виду.

Класифікація вторинних мереж електрозв'язку можлива за багатьма ознаками, наприклад:

- **територіальному:** міжнародні, міжміські або національні, зонові (внутрішньообласні), місцеві (міські та сільські), локальні, у тому числі і внутрішньовиробничі мережі;
- **приналежності:** загальнодержавні, відомчі і приватні;
- **структурі побудови** (топології): повнозв'язні, радіальні, радіально-вузлові, деревоподібні, кільцеві, сітчасті тощо. Припустима й змішана або комбінована структура мережі, що поєднує фрагменти різних топологій.
- **виду переданої інформації:** телефонні, телеграфні, передачі даних, звукового віщання й ін.

На Україні в складі ЄНСЗУ існують загальнодержавні вторинні мережі: телефонна мережа загального користування (ТфМЗК), абонентського телеграфування (АТ), телеграфна мережа загального користування (ТгЗК), провідного віщання (ПВ) і розподілу програм телевізійного віщання (РПТВ), мережа передачі даних і комутації пакетів (УкрПАК) і стільникова мережа мобільного зв'язку (СММЗ).

Стосовно ТМЗК **трактування мережі**, маючи на увазі комплекс технічних засобів, що складається з обладнання комутації, передачі, середовища поширення сигналів і інших елементів, і «створення мережі» асоціюються з будівництвом лінійних споруд, установкою комутаційного обладнання і подібними роботами - правомірне. Дійсно йдеться про побудову великої мережі, яка включає великий комплекс технічних засобів. Якщо ж ми **говоримо про ЦМІО** (цифрові мережі інтегрального обслуговування), то ситуація істотно змінюється. Нова мережа, насправді, не створюється. В цифрову комутаційну станцію вводяться додаткові апаратно-програмні засоби, а у користувача ЦМІО встановлюється нове обладнання. Аналогічна картина складається при введенні послуг ІМ (Інтерактивної мережі). Говорячи про побудову ЦМІО або ІМ, ми маємо на увазі модернізацію ТМЗК, а не створення нової мережі. В цьому значенні, ТМЗК розвивається як система, що підтримує послуги, які істотно перевищують функціональні можливості традиційної телефонії.



Рис.2. Класифікація комутованих мереж.

Таким чином, ТМЗК включає також ЦМІО, ІМ і ряд інших мереж. Дуже схожа картина складатися з іншими комутованими мережами ВМЗ України. На рис.2 наведена класифікація комутованих мереж. Всі комутовані мережі ВМЗ України можна розділити на два великі класи – інтерактивні і розподілу інформації. Схожа класифікація використовується в рекомендаціях МСЕ серії I.200, які були пов'язані з послугами широкосмугової цифрової мережі інтегрального обслуговування (Ш-ЦМІО). Блок з написом "Ш-ЦМІО" поміщений трохи нижче за два прямокутники – "Інтерактивні мережі" і "Мережі розподілу інформації". Цим підкреслюється той факт, що Ш-ЦМІО ще не існує, але з точки зору функціональних можливостей її можна розглядати як самостійну мережу, що входить у ВМЗ України.

Термін "Первинна мережа" був введений як назва сукупності каналів і трактів, ресурси яких використовуються різними *вторинними мережами* – телефонною, телеграфною та іншими. На рис. 3. показано транспортну (первинну) і комутовані (вторинні) мережі. Ця модель ілюструє принципи використання ресурсів транспортної мережі для організації телефонного зв'язку і передачі даних (ПД).

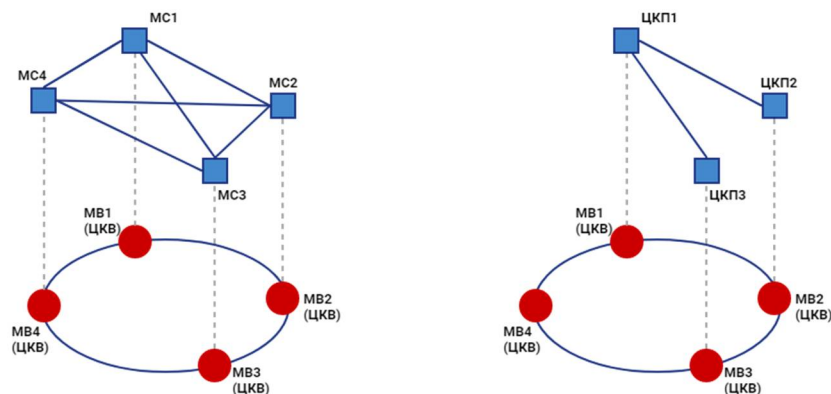


Рис. 3. Транспортна і комутовані мережі.

МС – місцева станція	ЦКВ – цифровий кросовий вузол
МВ – мережевий вузол	ЦКП – центр комутації пакетів

Лівий фрагмент Рис. 3 ілюструє принципи побудови гіпотетичної МТМ, що складається з чотирьох МС. Правий фрагмент показує ідею побудови мережі передачі даних, що утворюється трьома центрами комутації пакетів (ЦКП). Нижні частини лівого і правого фрагментів ідентичні, оскільки відображають загальну транспортну мережу, яка складається з двох основних елементів – мережевих вузлів (МВ) і об'єднуючих їх ліній передачі. Історично склалася так, що обладнання МВ розташовується в тих же будівлях, де встановлюється комутаційне обладнання ТМЗК. З цієї причини кількість МВ в даній моделі така сама, як і кількість МС.

На рис. 3. показана кільцева структура транспортної мережі, але це не єдино можливе рішення. Мережа з такою топологією відрізняється оперативністю і високою продуктивністю передачі повідомлень, але може використовуватися для невеликої кількості вузлів..

В даній моделі передбачається, що МВ були побудовані на базі цифрових кросових вузлів (ЦКВ). Важлива особливість ЦКВ – можливість оперативного встановлення напівпостійних з'єднань для того, щоб всім комутованим мережам були надані необхідні ресурси для обміну інформацією. ЦКВ дозволяють формувати комутовані мережі будь-якої структури. Лівий фрагмент рис. 3 показує структуру МТМ, в якій всі МС зв'язані між собою за принципом "кожен з кожним". Гіпотетична мережа ПД –містить три ЦКП, які утворюють структуру типу "зірка".



Рис. 4. Загальна структура мережі зв'язку .

### 3. Принципи побудови міської телефонної мережі

**Міська телефонна мережа (МТМ)** – це сукупність станційних та лінійних споруд, а також кінцевих абонентських пристроїв (телефонних апаратів), що призначена для забезпечення телефонним зв'язком абонентів міста. До основних станційних споруд МТМ належать: комутаційне

обладнання автоматичних телефонних станцій (АТС), підстанції (ПС), установчо-виробничих АТС (УВАТС) та різноманітних вузлів автоматичної комутації, а також обладнання електроживлення та систем передачі, що встановлюються на цих станціях.

До складу лінійних споруд входять лінійні кабелі, телефонна каналізація, розподільчі шафи та коробки, проводки в абонентських пунктах та ін. На МТМ є абонентські лінії (АЛ), за допомогою яких телефонні апарати підключаються до АТС, кожному телефонному апарату МТМ присвоєний відповідний абонентський номер. Сукупність номерів всіх абонентів міста називають **нумерацією** МТМ.

При визначенні нумерації будемо вважати “0” найбільшою цифрою, так як при її наборі на АТС приймається найбільша кількість імпульсів – 10. Наприклад, в групі з 10 абонентів маємо нумерацію 1 – 0 (один, два, три... нуль), нумерація сотенної групи – 11 – 00 (одиннадцять, дванадцять,... 00), тисячної – 111 – 000 (111, 112...009, 000) і ті.

**Значність** нумерації МТМ, що являє собою кількість цифр в номері, залежить від загальної ємності МТМ. Ємність – можлива кількість абонентських номерів. Якщо, наприклад, загальна ємність МТМ не перевищує 10 тис. номерів, то кожен номер може містити цифри тисяч Т, сотень С, десятків Д та одиниць О., тобто нумерація буде чотирьохзначною. Структуру чотирьохзначного номера позначають ТСДО.

Крім звичайних абонентських номерів, на МТМ використовують скорочені ( трьохзначні) номери, що присвоєні різноманітним спецслужбам. Номери всіх спецслужб починаються з цифри “1” (101, 102...), тому “1” не може бути першою цифрою абонентського номера. Абонентські номери не можуть починатися також з цифри 0, яка є індексом виходу на автоматичну міжміську телефонну станцію (АМТС). З урахуванням цього при чотирьохзначній нумерації ємність МТМ фактично не може перевищувати 8000 номерів, при п’ятизначній нумерації максимальна ємність МТМ дорівнює 80 000.

Для здійснення з’єднань в межах МТМ встановлюється місцева нумерація, яка може бути 5-,6- та 7- значною.

Оскільки основною одиницею ємності МТМ є десятитисячна АТС, то місцевий абонентський номер утворюється з 4-значного номера, якийзначається в межах десятитисячної групи, з додаванням перед цим номером станційного коду, що складається з однієї, двох або трьох цифр, що визначають номер десятитисячної групи, в яку ввімкнено лінію абонента.

При наявності на МТМ установчо-виробничих телефонних мереж, всі або частина абонентів якої повинні мати право виходу на мережу загального користування, із складу нумерації найближчої РАТС (таку РАТС називають “опорною”) виділяється група номерів, кратна 100. Кожному абоненту, крім внутрішнього номера, 2- або 3-значного, присвоюється номер МТМ з кількістю знаків, що прийнята на даній мережі.



### 3.1. Принципи районування.

Розрізняють районовану і нерайоновану мережу. Розглянемо приклад нерайонованої мережі.

На нерайонованій МТМ використовується тільки одна міська АТС (МАТС), що обслуговує всіх абонентів міста (при ємності до 5 – 6 тис. абонентів).

**Підстанцією** називають обладнання, “винесене” з міської АТС і розташоване у безпосередній близькості від достатньо компактної групи абонентських пунктів. Застосування ПС дозволяє скоротити витрати на АЛ за рахунок зменшення їх довжини. Підстанція зв’язана з МАТС трьома пучками ЗЛ односторонньої дії: один пучок використовується для місцевого вихідного зв’язку від ПС на МАТС, другий - для місцевого вхідного зв’язку, третій пучок - для міжміського зв’язку. Всі види з’єднань абонентів ПС здійснюються через МАТС, тому в тракці взаємного зв’язку абонентів ПС беруть участь дві ЗЛ: вихідна і вхідна.

**Установчо-виробнича АТС(УВАТС)** обслуговує абонентів установи чи підприємства: вона зв’язана з МАТС трьома пучками ЗЛ. Для встановлення з’єднання з абонентом МАТС абонент УВАТС повинен набрати індекс зовнішнього зв’язку (як правило цифру 9), а потім повний абонентський номер. Взаємний зв’язок абонентів УВАТС здійснюється без заняття ЗЛ, набором скороченого номера, що містить декілька останніх цифр повного абонентського номера абонента, який викликається. Зв’язок АМТС з МАТС здійснюється по замовно-з’єднувальним лініям (ЗЗЛ) та міжміським з’єднувальним лініям (ЗЛМ).

Районована МТМ містить декілька районних АТС (РАТС) при максимальній ємності 50 - 60 тис. абонентів.

Розрізняють 4 основних способи побудови комутованих телефонних мереж без обхідних напрямків: повнозв’язний (“кожна з кожною”), радіальний, радіально-вузловий, комбінований.

**Повнозв’язний** – застосовується в тих випадках, коли інтенсивність навантажень між станціями має такі значення, при яких забезпечується достатньо високе використання каналів; має високу структурну надійність, що дає можливість при порушенні зв’язку між двома станціями не порушувати роботу всієї мережі. За таким способом будуються міські телефонні мережі середньої ємності.

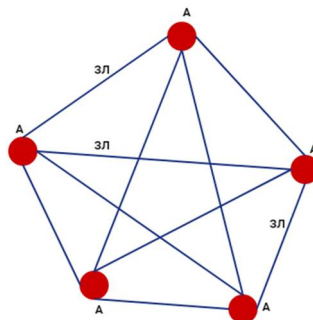
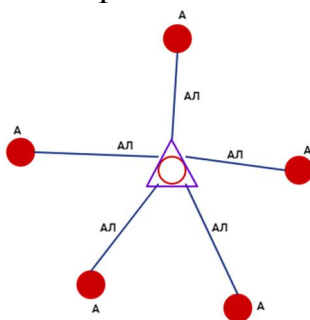


Рис.5. Топологія мережі "кожний з кожним".  
А – абонентський пристрій; ЗЛ – з’єднувальна лінія.



Мережа надійна, відрізняється оперативністю і високою якістю передачі інформації. На практиці застосовується при невеликій кількості вузлів;

При **радіальній** побудові мережі має місце вузол, і тільки через нього можуть з'єднуватися будь-які дві станції. Недоліки: велика довжина каналів між територіально близько розташованими станціями і низька структурна надійність, тому що при виході з ладу вузла порушується зв'язність мережі. Використовується при обмеженому числі абонентних пунктів, розташованих на невеликій території: застосовується при побудові сільських і внутрішньозонових телефонних мереж.



А – абонентський пристрій; АЛ – абонентська лінія.

Рис. 6. Топологія мережі "зірка".

**Радіально-вузловий** спосіб усуває недоліки радіального. При такому способі будуються комутаційні вузли декількох класів і вводиться деяка ієрархія між вузлами, тобто визначається їх взаємопідлеглість при встановленні з'єднання. Таку структуру мають міські телефонні мережі, якщо ємність мережі не перевищує 80...90 тисяч абонентів;

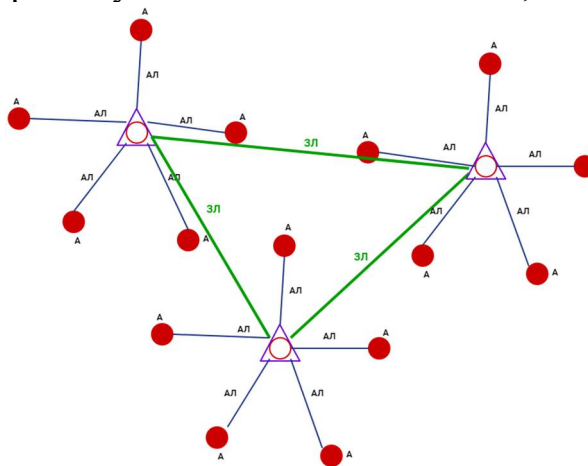


Рис. 7. Радіально-вузлова топологія мережі.

**Комбінований** спосіб використовується при побудові міжміської телефонної мережі, коли вузли першого класу об'єднуються між собою по принципу "кожен з кожним", являючи собою центри радіально-вузлової побудови.

Із зростанням ємності телефонної мережі збільшується число РАТС, а інтенсивність навантаження між ними зменшується. Одним з методів підвищення пропускної здатності міжстанційних ЗЛ на районаній мережі є утворення вузлових станцій.

Вузлова станція - це сукупність комутаційних пристроїв, до входів та виходів яких підключені ЗЛ до кінцевих станцій, і за допомогою яких навантаження, що надходить з різних напрямків на входи вузла, розподіляється по іншим напрямкам, які ввімкнені у виходи вузла. Вузлова станція не має власних абонентів і, як правило, розміщується в одній будівлі з однією із кінцевих станцій. Вузол вихідного повідомлення ВВихП об'єднує вихідне навантаження від групи близько розташованих станцій і розподіляє його по напрямках до інших РАТС чи груп РАТС.

Вузол вхідного повідомлення ВВП об'єднує вхідне до групи близько розташованих станцій навантаження і розподіляє його по напрямках до цих станцій. При цьому зв'язок всередині групи РАТС, що розглядається, може здійснюватись по принципу "кожна з кожною" або через свій вузол.

Використовується при побудові телефонних мереж великих міст при використанні класичних АТС. Мережа має три рівні вузлових пунктів: районні, обласні і головні.

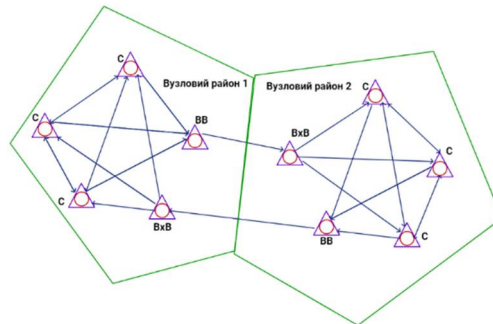


Рис. 8. Топологія радіально-вузлової мережі з вузловими районами.  
ВВ- вихідний вузол, ВхВ – вхідний вузол

#### 4. Організація телефонних мереж сільських районів. Структура СТМ

Телефонні мережі сільських адміністративних районів будуються в межах адміністративних районів для всіх населених пунктів району з центром у райцентрі. У райцентрі телефонна мережа будується аналогічно до МТМ. У невеликих РЦ зазвичай є тільки одна АТС, яка носить назву центральної станції (ЦС). В інших населених пунктах (селах, хуторах тощо) зазвичай є кінцеві АТС (КС) невеликої ємності 50...1000 номерів. Через великі відстані поміж станціями сіл (кінцевих станцій) вони зв'язуються поміж собою через ЦС.

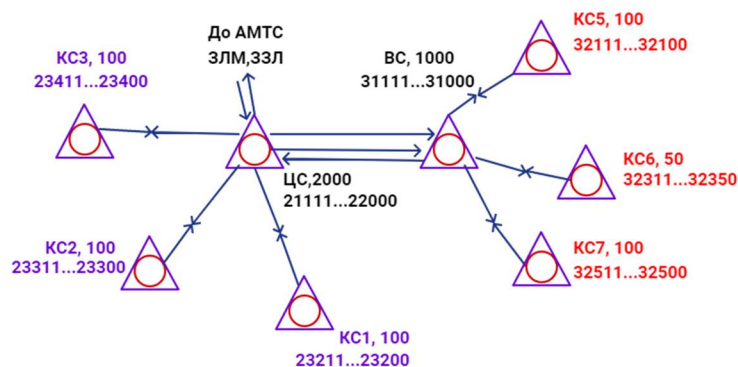


Рисунок 9. Побудова СТМ

Якщо райцентр – велике місто, в якому є власна міська телефонна мережа з власними РАТС, то для зв'язку з кінцевими станціями використовується вузол сільсько-приміський (ВСП). Міжміський зв'язок абонентів СР зорганізовується через ЦС, яка виконує функції вузла з'єднувальних ліній міжміських та вузла замовно-з'єднувальних ліній. До кінцевих АТС міжміські зв'язки зорганізовуються в тих самих пучках, що й місцевий зв'язок.

Оскільки КС мають невеликі ємності, то пучки ЗЛ зазвичай є двобічними, тобто одним пучком зорганізовується зв'язок від КС до ЦС та навпаки (рис. 9).

Телефонна мережа СР будується за радіально-вузловим принципом. Тому на мережі окрім ЦС та КС, є й вузлові станції (ВС). Поміж ВС та ЦС зорганізовуються три пучки ЗЛ: два – для місцевого зв'язку й один – для вхідного міжміського зв'язку.

#### **4.1. Нумерація абонентських ліній на ТМ СР**

1. *Закрита нумерація.* На всій телефонній мережі використовується єдина п'ятизнакова нумерація й абоненти, як в місті, всі використовують для виклику п'ятизначові номери. Використовується, якщо у всіх АТС є можливість приймати п'ятизначові номери. Тобто на мережі відсутні станції АТСК-50/200.

2. *Відкрита нумерація з індексом виходу до ЦС.* На КС використовується тризначова нумерація для зв'язку в межах КС. Використовуються останні три цифри п'ятизначового номера. Для виклику абонента сусідньої АТС спочатку набирається індекс виходу на ЦС (0 чи 9), а потім – **п'ятизначовий номер абонента**. Використовується для мереж великої ємності (понад 8 тисяч номерів).

3. *Відкрита нумерація без індексу виходу на ЦС.* В межах КС використовується тризначова нумерація. Для виходу до абонентів інших АТС набирається повний п'ятизначовий номер. При цьому у всіх абонентів мережі перша цифра п'ятизначового номера є однакова, наприклад 9. Треті цифри тризначового номера не повинні збігатися з цією цифрою.

#### **5. Принципи побудови зонних телефонних мереж**

Зонна телефонна мережа складається з місцевих телефонних мереж (міської і сільської), розміщених на території зони і внутрішньозонової телефонної мережі. Уся територія України, як і будь-якої іншої країни, розділена на зони телефонної нумерації. Зона нумерації - це частина території країни, на якій всі абоненти телефонної мережі охоплені єдиною семизначною нумерацією. Зона охоплює територію адміністративної області або адміністративно виділеного міста (Севастополь). Максимальна ємність місцевих телефонних мереж на території зони не повинна перевищувати 8 млн. номерів з обліком її безперешкодного розвитку на період не менше 50 років. На території області може бути організовано кілька зон, якщо це економічно виправдано. У зоні може бути встановлено якась кількість АМТС, розміщених

в одному або декількох містах зони. На Україні організовано 26 зон телефонної нумерації (25 областей та Севастополь).

Внутрішньозонова мережа являє собою сукупність АМТС, що одночасно входять і в міжміську мережу – замовно-з'єднувальних (ЗЗЛ) і з'єднувальних міжміських (ЗМЛ) ліній. ЗЗЛ використовується для вихідного, а ЗМЛ - для вхідного міжміського зв'язку. Внутрішньозонова телефонна мережа забезпечує з'єднання між собою станцій і вузлів різних місцевих мереж однієї зони і вихід їх на міжміську мережу.

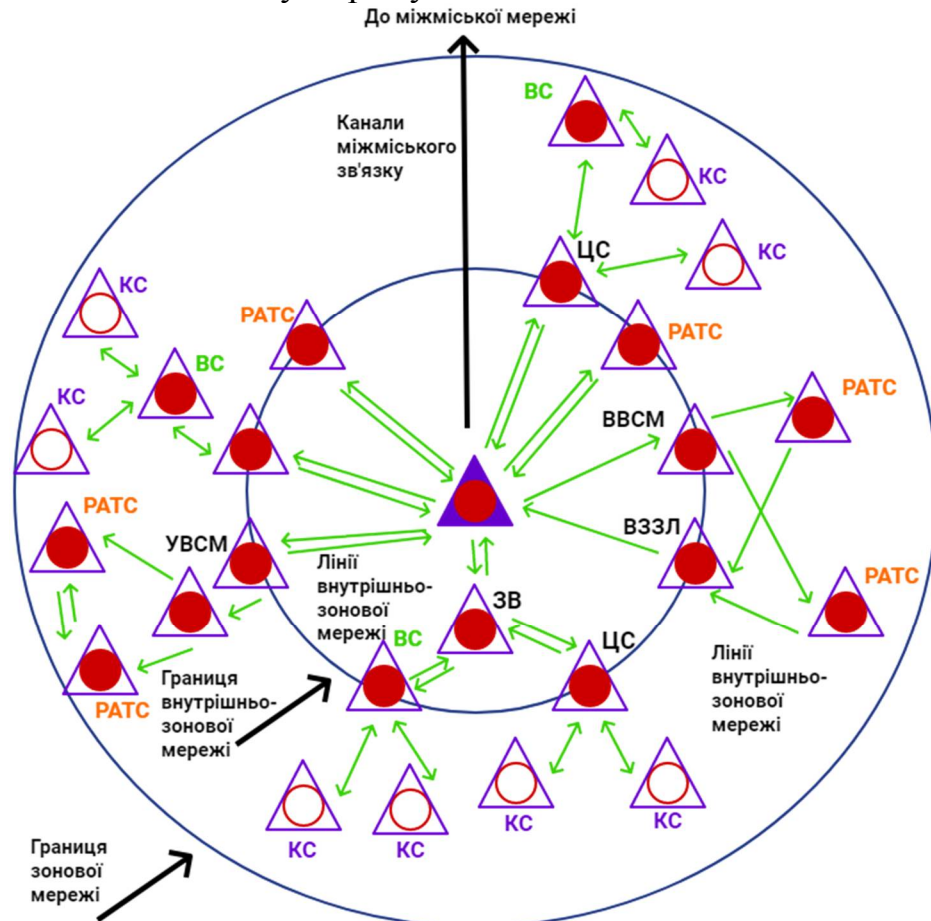


Рис.10 – Принципи побудови зонової мережі

Для внутрішньозонового встановлення з'єднання поміж абонентами різних місцевих мереж однієї зони абонент, котрий викликає, набирає **9 цифр**: **8-2ab-xxxxx**, де цифра 2 – спрямовуючий індекс внутрішньозонового зв'язку.

## 6. Принципи побудови міжміських телефонних мереж

Чотирирівнева структура міжміської телефонної мережі СРСР з центром у м. Москві на даний час видозмінилася. На Україні здійснено перехід на дворівневу структуру з центром у м. Києві (рис. 11) з використанням кінцево-транзитних станцій (КТС): КТС-1 (м. Київ) та КТС-2 (м. Одеса, м. Львів, м. Дніпропетровськ, м. Харків, м. Хмельницький).

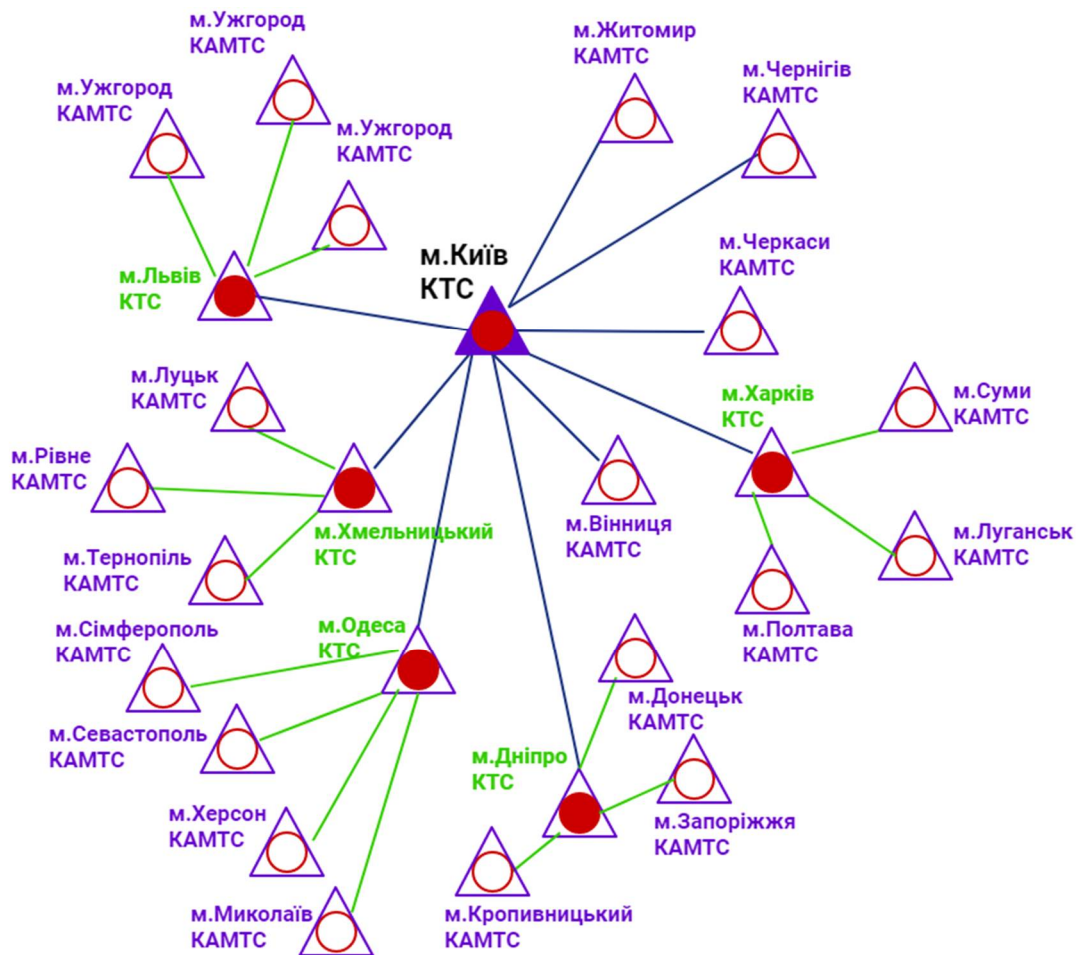


Рис. 11 – Структура міжміської мережі України

В інших обласних центрах встановлено устаткування кінцевих автоматичних міжміських телефонних станцій (КАМТС). У м. Севастополі використовується самостійна КАМТС типу EWSD. З метою збільшення структурної надійності (живучості) міжміської мережі рекомендується організація виходу однієї КАМТС на дві чи більш КТС. Приміром, КАМТС, увімкнені до КТС-2 м. Одеси, можуть мати зв'язок з КТС-2 м. Дніпропетровська та м. Львова.

З 1993 року в Україні розпочате створення цілком цифрової міжміської мережі на базі сучасних цифрових електронних систем комутації (ЦСК) типу 5ESS і EWSD. Такі ЦСК уже працюють як АМТС практично у всіх великих містах України.

В перехідний період до цілком цифрових мереж в Україні будуть діяти паралельно дві міжміських мережі: аналогова і цифрова. Зв'язок між ними організовано по лініях спільної роботи між аналоговою і цифровою АМТС обласного центра.

Як показали розрахунки, на національній цифровій мережі України доцільно замість виділених ВАК використовувати опорно – транзитні станції (ОТС) для пропуску транзитного навантаження. Цифрова міжміська телефонна мережа створюється також по ієрархічному принципі і має три рівні ієрархії: АМТС - ОТС II класу - ОТС I класу. У Києві створена ОТС першого

класу, ОТС другого класу планується створити в м. Харкові, Дніпропетровську й у містах прямих зв'язків, що мають велику кількість каналів з АМТС, як України, так і ближнього і далекого зарубіжжя (Львів, Одеса).

## 7. Нумерація на міжміській і зонової телефонних мережах

Кожній зоні телефонної нумерації привласнений свій код, що названий міжміським кодом або кодом зони. На території колишнього СРСР коди зон - тризначні і позначаються АВС, при цьому в Україні в якості А використовувалася цифра 0. Після того, як Україна стала незалежною державою тризначні коди зон на її території стали не потрібні, тому що на Україні всього 26 зон нумерації, тому вирішено першу цифру коду (0) вилучити зробивши коди зон двозначними і залишивши для них позначення вузлового району (ВР). Місцеві мережі на території зони теж мають свої внутрішньозонові коди. Ці коди – двозначні, тому що кількість місцевих мереж на території зони ніколи не перевищує декількох десятків. Позначаються вони малими буквами - *ab*.

У такий спосіб повний номер, що набирається абонентом при міжміському зв'язку має вигляд: 0 - ВР - *ab* - *ххххх*. Перша цифра - 0 – індекс виходу на АМТС, ВР - код зони, що визначає адміністративну область, у якій знаходиться абонент, і *ab* - внутрішньозоновий код, що визначає сільський адміністративний район, невелике місто з п'ятизначною нумерацією або вузловий район великого міста із шестизначною нумерацією.

Україні, вже після того як був складений план міжнародної нумерації, був виділений один з резервних міжнародних кодів 380. У такий спосіб повний міжнародний номер при виклику абонента України з-за кордону буде 12-значним (380-*bc-ab ххххх*), що на одиницю більше ніж рекомендовано. Але в зв'язку з тим, що в більшості міжнародних вузлів комутації уже встановлене устаткування з програмним керуванням, вимоги до значності нумерації при різних видах зв'язку пом'якшено і сформована ситуація не обмежує можливості міжнародного зв'язку з абонентами України.

Нумерування на будь-якій місцевій мережі може мати 5, 6 чи 7 знаків залежно від ємності мережі. Мережу України розбита на зони нумерації. У межах однієї зони, а це зазвичай одна область, хоча в деяких областях є по дві зони. У межах однієї зони нумерація є семизначною – *ab-ххххх*.

## 8. Структура і принципи побудови міжнародної мережі зв'язку

Міжнародна телефонна мережа призначена для забезпечення зв'язку між абонентами різних національних мереж. Національну мережу в межах своєї країни називають міжміською мережею.

Всесвітня, глобальна телефонна мережа зв'язку побудована по ієрархічному принципу на базі міжнародних центрів автоматичної комутації трьох класів: СТ1, СТ2 і СТ3. Кожний з цих центрів є кінцевою міжнародною



станцією, а СТ1 і СТ2 є ще і транзитними вузлами. Уся територія земної кулі розділена на вісім зон комутації або вісім телефонних континентів. У центрі телефонного навантаження кожного з них знаходиться міжнародний транзитний центр комутації першого класу, названий СТ1. Усі СТ1 з'єднані між собою повнозв'язним способом ("кожний з кожним"). У середині телефонного континенту організуються вузли другого, більш низького рівня ієрархії - СТ2. Зона дії СТ2 - одна країна або кілька невеликих країн. У великих по території країнах може бути організовано декілька СТ2. В даний час Київський СТ2 обслуговує міжнародний зв'язок України. На наступному рівні ієрархії організуються центри комутації третього класу - СТ3. Зона дії СТ3 - одна невелика країна. На території великих країн міжнародні вузли третього класу не організуються.

Міжнародна мережа побудована комбінованим способом, при якому вузли найвищого класу ієрархії, з'єднані повнозв'язним способом, є одночасно центрами радіально-вузлової побудови нижніх рівнів мережі. Однак існуюча міжнародна телефонна мережа, як і більшість реальних мереж електрозв'язку, не може бути побудована в строгій відповідності з якоюсь визначеною структурою. Реально, при наявності великого тяжіння, між двома СТ будь-якого класу організуються прямі зв'язки. Кожному телефонному континенту привласнений однозначний код. Код країни в межах телефонного континенту може бути одно-, дво- і трьохзначним. Першою його цифрою завжди є однозначний код телефонного континенту. Значність (кількість цифр) коду країни залежить від значності її національної нумерації, тобто від кількості цифр, що набираються абонентом при зв'язку в межах своєї країни.

Так, наприклад, у США 10-значна нумерація - код країни однозначний (7), у Польщі - дев'ятизначна і код країни двозначний (48), в Алжиру нумерація восьмизначна, код країни - тризначний (213). Найчастіше двозначний код країни збігається з розміщенням у ній міжнародного вузла СТ2, а тризначний - вузла СТ3, хоча це і не обов'язково.

Україні виділений код 380, що відноситься до телефонного континенту Західної Європи.

## Л1. Аналоговий, дискретний, цифровий сигнал

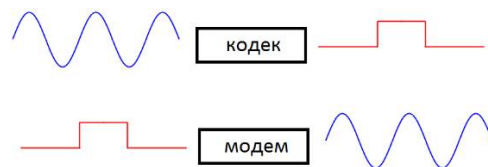
### 1. Етапи перетворення сигналів

### 2. Системи кодування

Аналоговий сигнал – сигнал, що описується неперервними функціями часу, тобто амплітуда коливань його може приймати будь-які значення в межах максимуму. (цифровий сигнал – сигнал, що описується дискретними функціями часу, тобто амплітуда коливань приймає значення тільки строго певні).

На практиці це дозволяє говорити про те, що аналоговий сигнал супроводжується великою кількістю перешкод, тоді як цифровий їх успішно відфільтровує. Останній же здатний відновлювати вихідні дані. Крім того, неперервний аналоговий сигнал часто несе в собі багато зайвої інформації, що призводить до його надмірності – кілька цифрових сигналів можна передати замість одного аналогового.

Важливу роль у подальшому розвитку комутаційної техніки, а саме цифровізації, визначила поява простих але дуже важливих пристроїв: кодеків та модемів. Кодеки перетворюють аналоговий сигнал у цифровий, модеми – навпаки.

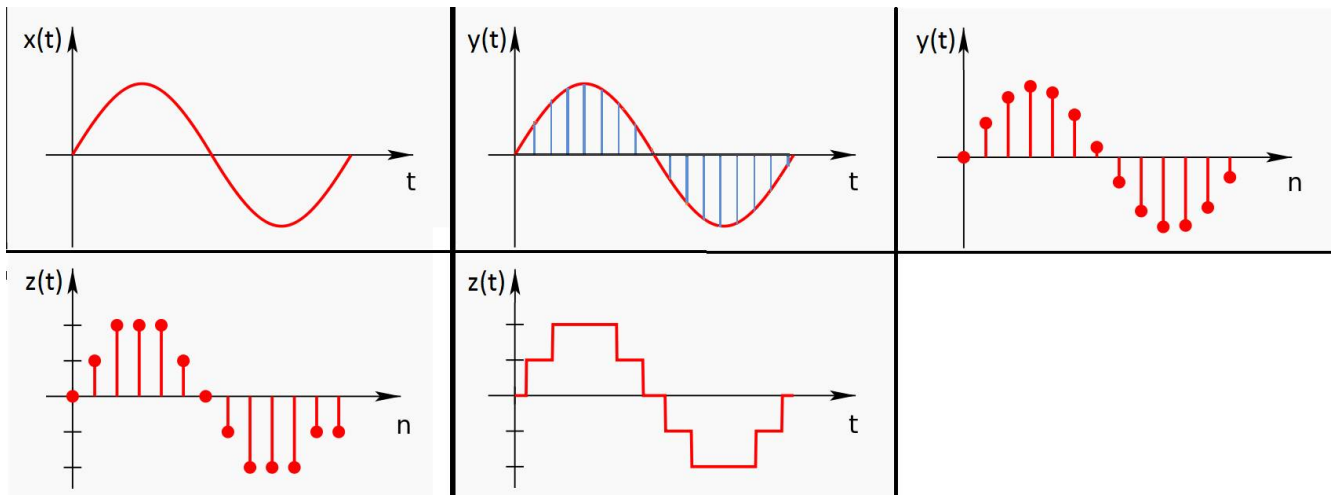


Суть **цифровізації** полягає у тому, що первинний аналоговий сигнал може бути відтворений із відповідної послідовності дискретних значень його амплітуди. Число відліків за секунду називається **частотою дискретизації** і залежить від найбільш високочастотного компонента даного сигналу.

Теорема **Котельнікова** стверджує, що аналоговий сигнал можна правильно відновити, якщо частота дискретизації вдвічі вища частоти сигналу. Теорема **Найквіста** визначає, що якщо частота вибірки  $f_s$  перевищує не менш як вдвічі найвисокочастотнішу складову аналогового сигналу  $f_a'$ , то первісний аналоговий сигнал повністю описується лише за допомогою миттєвих вибірок. (Саме на цих двох теоремах базується ІКМ).



Розглянемо етапи перетворення аналогового сигналу у цифровий.



Пристрій дискретизації «вирізає» з первинного аналогового сигналу  $x(t)$  частини, утворюючи послідовність імпульсів, амплітуда яких відповідає миттєвому значенню амплітуди даного сигналу. Аналоговий сигнал  $x(t)$  перетворюється у дискретизований у часі сигнал  $y(t)$ , який являє собою хоч і дискретизований, але все ще аналоговий сигнал.

Для того, щоб передати цей сигнал у цифровій формі, його необхідно проквантувати, тобто значення кожної амплітуди  $y(t)$  заокруглити до найближчого числа з певного фіксованого набору чисел (рівні квантування). Результатом такої операції буде сигнал  $z(t)$ , який також дискретизований за амплітудою.

При квантуванні значень амплітуди первинного сигналу  $x(t)$ , внаслідок заокруглення, втрачається повна інформація про первинний сигнал, тобто цей сигнал вже не може бути відновлений абсолютно точно (втрата точності виражається у шумах квантування).

Останнє перетворення сигналу полягає у кодуванні. Оскільки число рівнів квантування кінцеве, то їх можна пронумерувати і подати кожен номер рівня квантування у вигляді двійкового коду (кодове слово). Таким чином сигнал  $z(t)$  перетворюється у послідовність  $n$ -бітових слів 0101...1111, тобто стає цифровим.

Все це і є імпульсно-кодова модуляція. Очевидно, що чим більше рівнів квантування, тим точніше буде описаний сигнал і тим кращу характеристику буде мати відновлений сигнал.

На приймачі відбувається зворотній процес, спочатку декодування амплітуди сигналу, а потім відновлення з дискретних значень амплітуди неперервного аналогового сигналу.

Для впевненого відновлення мови достатньо мати 256 рівнів квантування амплітуди ( $2^8$ ), тобто 8-бітових кодових слів. А для відтворення музики цього недостатньо і використовують 16-ти бітові кодові слова ( $2^{16} = 65536$ ). Чим більше рівнів квантування, тим довші слова і тим швидше вони мають передаватися. Швидкість передавання бітів має бути така, щоб цифрове слово, що несе в собі попереднє дискретне значення амплітуди сигналу було уже передано до того, як з'явиться наступне слово готове до передачі. Таким чином, для кожної цифрової системи проводиться пошук компромісу між якістю та швидкістю передавання.

У мережах з комутацією каналів, на відміну від мереж з комутацією пакетів немає загальної моделі, подібної моделі OSI або TCP/IP, хоча набір і ієрархія мережевих протоколів і швидкостей передачі також існує. Спочатку мережі з комутацією каналів створювалися для передачі телефонного трафіку. Для передачі по лінії зв'язку телефонного (аналогового) мовного сигналу у телефонії необхідно мати діапазон частот (з запасом) до 4 кГц.  $f_{\text{макс.мов.сигн}} = 4\text{кГц}$  (0,3-3,4кГц). Згідно теореми Котельнікова, частоту дискретизації достатньо взяти вдвічі більшою:

$$f_s \geq 2f_{\text{макс.мов.сигн}} = 2 * 4 = 8\text{кГц} = 8000 \frac{\text{відліків}}{\text{секунду}}$$

Якщо при квантуванні використовується 256 рівнів квантування і квантування відбувається 8-бітними словами, тобто кожен відлік будемо кодувати одним байтом (8 біт), то  $8000 * 8\text{біт} = 64000 \frac{\text{біт}}{\text{с}}$ , тобто швидкість потоку даних, що передає мовний сигнал має бути 64000б/с. Канал з такою швидкістю отримав назву основний цифровий канал (ОЦК). Оскільки система кодування ІКМ була першою стандартизованою системою, то пропускна здатність 64кбіт/с стала всесвітнім стандартом для цифрових мереж. Це відбувалося у 70-х рр. Всі сучасні системи кодування мають швидкість кратну 64кб/с.

Об'єднання 32 ОЦК (30 робочих і 2 службових) створює первинний цифровий канал (ПЦК) зі швидкістю 2048 кбіт/сек ( $E1=32*64=2048$ кбіт/с). В Європейській системі плезіохронній цифрової ієрархії (Plesiochronous Digital Hierarchy - PDH) ПЦК позначається E1. Мультиплексування (об'єднання) 4-х потоків E1 створює вторинний потік E2. Чотири потоки E2 формують третинний потік E3, а при мультиплексуванні чотирьох потоків E3 отримують потік E4.

Сучасні технології цифрової обробки сигналів використовують складніші способи кодування. Тобто, можна отримати кращу якість при тій самій швидкості передавання.

Наприклад, телефони ISDN можуть передавати якісну мову у діапазоні 7 кГц зі швидкістю 64кб/с. Іншим прикладом є технологія GSM.

Наприклад система кодування «Диференційна імпульсно-кодова модуляція» (ДІКМ) є ефективнішою за ІКМ, оскільки вона передбачає кодування лише зміни рівня сигналу, базуючись на тому, що зміна рівня амплітуди мовного сигналу відбувається відносно повільно, то для представлення кожного відліку можна використати менше число бітів. У ДІКМ використовується 4 біти і реалізується ступінь (коефіцієнт) стискання 2:1. Такий ступінь стискання дозволяє мати у тракті E1 64 канали по 32 біти кожен.

Все нові і нові способи кодування сигналу розвиваються на основі експериментів. Один зі шляхів – зменшити точність, з якою рівні квантування відповідають вихідному сигналу, в точках відліку, і для кодування можна використати 6 або 7 біт. Другий шлях – це відновлення сигналу, навіть якщо його 5-та частина відсутня (як ми візуально можемо відновити форму паркану, з якого витягнуті дощечки). Ще один шлях заснований на тому, що людська мова має надлишковість – паузи.

Використовують різні варіанти метода квантування, які поки не являються загальноприйнятими. Наприклад, система кодування CVSD (неперервно варійована зміна крутизни) має коефіцієнт компресії 4:1, тобто для передачі мови достатньо 16 кбіт/с або 6,667:1, де для передачі мовного сигналу достатньо 9,6 кбіт/с. Існують системи, де коефіцієнт компресії складає 16:1. Але завжди

потрібно пам'ятати, що викидаючи щось, ми втрачаємо якість, тому деякі системи кодування мають дуже вузький спектр застосування.

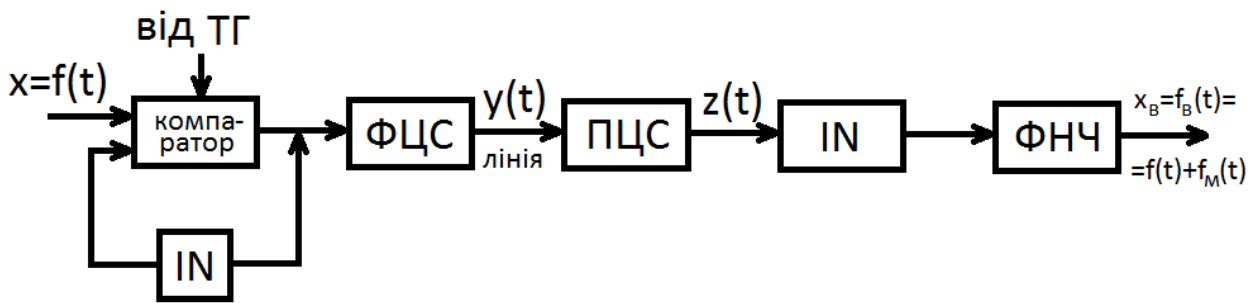
Спотворений відновлений сигнал у порівнянні з вихідним ідеальним оцінюється ступенем спотворення, що визначається середнім значення помилки, яка виникає при кроці  $\Delta$  і визначається як  $\Delta/2$ . Покращення можливе при зменшенні величини  $\Delta$ . Оцінка мовного тракту в залежності від рівня квантування наступна:

Оцінка якості	Число бітів квантування	Число елементів кодування
Дуже погано	$2^3 = 8$	3
Погано	$2^4 = 16$	4
Задовільно	$2^5 = 32$	5
Добре	$2^6 = 64$	6
Дуже добре	$2^7 = 128$	7
Відмінне	$2^8 = 256$	8

Спосіб ІКМ перетворення аналогових сигналів використовується на лініях зв'язку з часовим розподілом каналів (ЧРК). Основні параметри системи передачі з ІКМ 30/32 рекомендується міжнародною спілкою зв'язківців МСЕ:

1. Кількість каналів  $K=32$
2. Частота дискретизації  $f_{\text{диск}} = 8\text{кГц}$
3. Тривалість одного циклу утворення 32 каналів  $T_0 = 125\text{ мкс}$
4. Час для одного каналу  $t_{i,k} = T_0/K = 3,92\text{ нс}$
5. Число елементів коду в групі  $n=8$
6. Кількість рівнів квантування 256 ( $2^8$ )
7. Час передачі одного елемента коду 0,49 мкс
8. Швидкість передачі інформації  $2,048\frac{\text{Мбіт}}{\text{с}}$

Іншим методом аналогово-цифрового перетворення є дельта-модуляція. Ідея цього способу полягає у передачі по лініям зв'язку знаку зміни значення аналогового сигналу на тактовому інтервалі. Передавальна частина такої системи включає в себе компаратор, інтегратор і т.д.



ТГ – тактовий генератор

ФЦС – формувач цифрового сигналу

ПЦС – приймач цифрового сигналу

ІН – інтегратор

ФНЧ – фільтр нижніх частот

Сигнал подається на компаратор, де порівнюється з сигналом від тактового генератора. Якщо сигнал більше від еталонного, то в лінію іде +1 і еталонний сигнал збільшується на 1 крок квантування. Якщо сигнал менший за еталонний, то в лінію іде -1 і еталонний сигнал зменшується на 1 крок квантування. У ФЦС позитивні імпульси +1 замінюються на логічну одиницю, а від'ємні – на логічний 0. У приймачі відбувається зворотне перетворення. Основною перевагою дельта-модуляції є простота та висока достовірність передачі. Але для досягнення хорошої якості частота дискретизації має бути більше у 2-3 рази ніж для ІКМ.

## **Л.2. Поділ і об'єднання цифрових сигналів. Імпульсно-кодова модуляція ІКМ.**

### **1. Розділення та об'єднання цифрових сигналів.**

При комутації каналів комутаційна мережа утворює між кінцевими вузлами безперервний складовою фізичний канал з послідовно з'єднаних комутаторами проміжних каналних ділянок. Для комутації каналів використовують наступні методи розділення каналів:

- просторове розділення (space division), що використовує різні передаючі середовища для організації каналів;
- частотне розділення каналів (frequency division), що використовує для передачі сигналів по кожному каналу різні частоти. Найчастіше системи з об'єднанням ЧРК передають аналогові сигнали, тому іноді їх називають аналоговими системами передачі;
- часове розділення (time division), що здійснює передачу цифрових сигналів в різні часові інтервали в різних каналах;
- кодове розділення (code division), при якому розділення відбувається шляхом застосування конкретних значень кодів для кожного сигналу;
- розділення за довжиною хвилі, при якій цифрові сигнали передаються за цифровими каналами, організованими на різних довжинах хвиль в оптичному кабелі;
- розділення за модами при організації каналів на різних типах електромагнітних хвиль (модах) у оптичному кабелі;
- розділення за поляризацією електромагнітної хвилі усіх хвилеводів та оптичного кабелю.

Для передачі сигналів в одному середовищі розповсюдження відбувається розподіл каналів за тією чи іншою ознакою (окрім просторового) за допомогою операцій об'єднань (мультиплексування) групуються, формуючи цифрову систему передачі (ЦСП). У цифрових системах комутації (ЦСК) таке об'єднання та розділення сигналів найчастіше відбувається за допомогою часового мультиплексування (TDMA).

Хоча теоретично часове і частотне розділення дозволяють отримати однакову ефективність використання частотного спектра, проте, поки що системи часового поділу поступаються системам частотного поділу за цим показником. Разом з тим, системи з часовим поділом мають незаперечну перевагу, пов'язану з тим, що завдяки різному часу передачі сигналів різних каналів відсутні перехідні перешкоди нелінійного походження. Крім того, апаратура часового поділу значно простіша, ніж при частотному поділі, де для кожного індивідуального каналу потрібні відповідні смугові фільтри, які досить важко реалізувати засобами мікроелектроніки.

Часове мультиплексування в даний час є важливою складовою частиною не тільки ЦСП, але і ЦСК. У телефонії часове мультиплексування визначається як інструмент для розподілу (розділення та об'єднання) телефонних каналів у часі при передачі по одній фізичній лінії зв'язку. При

цьому використовується один із видів імпульсної модуляції. Кожний імпульс відповідає сигналу одного з каналів, сигнали від різних каналів передаються послідовно.

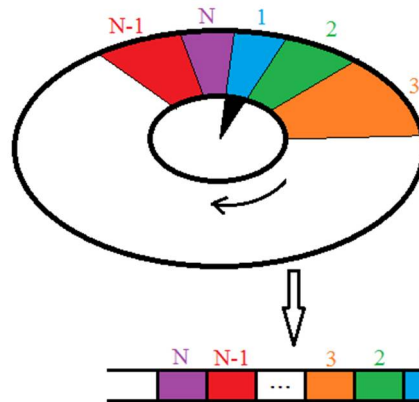
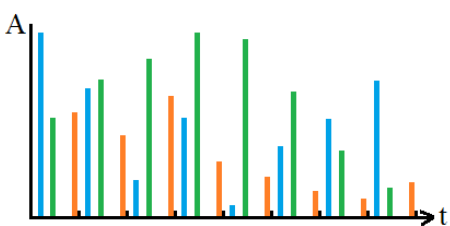
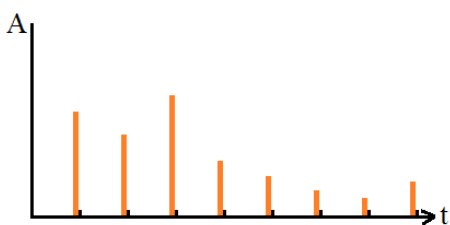
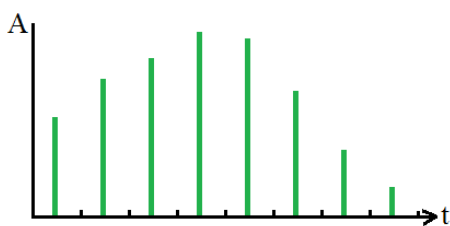
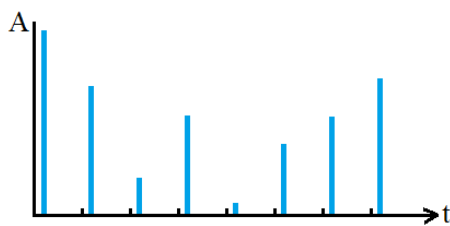


Рис.1. Кругова інтерпретація часового розділення

Принцип часового об'єднання сигналів показаний на рис. 1, де зображений комутатор  $K$ , що обертається (в центрі), що позмінно підключається до виходу послідовності каналів. До виходу каналу 1 комутатор підключається в момент часу  $t_1$ , до виходу каналу 2 в момент часу  $t_2$ , до виходу каналу  $N$  у момент часу  $t_N$  після чого процес повторюється. Результуючий вихідний сигнал буде забезпечений з послідовності сигналів різних каналів, змішаних відносно один одного на час  $\Delta t = t_{n-1} - t_n$ .



Розділення сигналів на прийнятній стороні буде походити аналогічно: комутатор, що повертається почергово підключається до каналів, передаючи перший сигнал в канал номер 1, другий – в канал номер 2 і т.д. Очевидно, що робота комутаторів на прийнятній та передавальній сторона повинна бути визначеним чином синхронізована, щоб сигнали, попередні за лініями, направлялися в необхідні канали. На рис. 2 представлені часові діаграми для випадків об'єднання трьох каналів, за допомогою яких передаються амплітудно-імпульсно модульовані сигнали.

В ЦСП використовуються ІКМ сигнали, що представляють собою цифрові кодові послідовності, що складаються з кількох бітів. **Часове об'єднання** кількох сигналів ІКМ – це об'єднання кодових послідовностей, що поступають від різних джерел, для спільної передачі по загальній лінії, при якій лінія в кожен момент часу пропонується для передачі лише однієї з послідовних кодових послідовностей.

Рис.2. Часове об'єднання



Часове об'єднання ІКМ сигналів характеризується рядом параметрів. **Цикл** часового об'єднання є сукупністю інтервалів часу, що слідуєть один за одним, які відведені для передачі ІКМ-сигналів, що йдуть від різних джерел. У циклі часового об'єднання кожному ІКМ сигналу відповідає конкретний інтервал часу, положення якого може бути визначено однозначно. Оскільки зазвичай кожен сигнал відповідає своєму каналу передачі, то такий інтервал часу, що відповідає для передачі одного каналу, називають **канальним інтервалом** (КІ). Виділяють два тип циклу – основний, тривалість якого рівна періоду дискретизації сигналів і надцикл (сверхцикл) – повторювальна послідовність основних циклів, що слідуєть один за одним, у якому позиція кожного з них визначається однозначно.

При побудові ІКМ апаратури використовують **однорідне часове об'єднання** ІКМ сигналів, при якому швидкості передачі кодових слів об'єднаних ІКМ-сигналів однакові. Це дає можливість проводити погурпове об'єднання ІКМ-сигналів і будувати на основі цього ієрархічні системи передачі ІКМ сигналів.

## 2. Імпульсно-кодова модуляція

При використанні 8-розрядного коду інформаційний потік зі швидкістю передачі рівній 64 кбіт/сек отримав назву основний цифровий канал (ОЦК). Об'єднання 32 ОЦК (30 робочих і 2 службових) формує первинний цифровий канал (ПЦК) зі швидкістю 2048 кбіт/сек.

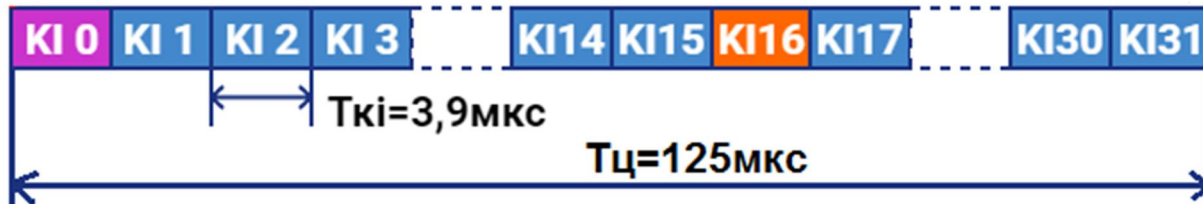


Рис.3. Структура циклу ІКМ 30/32

Отже, цикл передачі містить 32 канальних інтервалу (рис.3), а частота проходження канальних інтервалів становить  $F_{KI} = F_{\delta} * N = 8 \text{ кГц} * 32 = 256 \text{ кГц}$ . Кожен канальний інтервал містить  $m = 8$  двійкових розрядів, які слідуєть з тактовою частотою  $F_m = F_{KI} * m = F_{\delta} * N * m = 256 \text{ кГц} * 8 = 2048 \text{ кГц}$ .

У цій системі цикл, тривалістю 125 мкс ділиться на 32 однакових канальних інтервалу (слота). Для передачі інформації використовують 8-розрядний код при частоті дискретизації 8 кГц. У кожному циклі передаються СУВ відразу для двох каналів ( $N/2$ ). Оскільки ІКМ-30 мультиплексує 30 телефонних каналів, то надцикл буде  $N/2 + 1 = 16$  циклів. У кожному циклі перший слот відводиться для сигналів циклової синхронізації, а 16-й слот – для передачі сигналів СУВ (сигнали управління, аварійні сигнали, службові тощо) і 30 каналів на передачу інформації. Разом 32 КІ в кожному циклі.

Канальні інтервали КІ1-КІ15, КІ17-КІ31 відведені під передачу інформаційних сигналів. КІ0 і КІ16 - під передачу службової інформації.



У нульових каналних інтервалах (рис.4) розміщується код циклової синхронізації, наприклад, 0011011, в шістнадцятих КІ – код сигналів управління і взаємодії (СУВ) зі станцією, а також сигнал надциклової синхронізації. Циклова синхронізація необхідна, щоб задати початок циклу, тобто визначити момент початку інформаційних розрядів послідовності робочих каналів. Сигнали управління і взаємодії (СУВ) містять службову інформацію для робочих каналів.

В одному байті каналного інтервалу 16 звичайно міститься інформація для всіх каналів, тому необхідно використовувати 16 циклів, щоб передати службову інформацію про всіх каналах. Зазначені 16 циклів утворюють надцикл, початок якого визначається кодом надциклової синхронізації. Таким чином, сигнали циклової і надциклової синхронізації представлені багаторозрядними кодовими комбінаціями, розташованими в певних каналних інтервалах циклу системи ЧРК ІКМ

При передачі інформації існує ймовірність того, що інформаційна кодова комбінація співпаде з кодовою комбінацією, наприклад, циклової синхронізації. Однак робочі інформаційні кодові комбінації з кожним циклом змінюються, а коди синхронізації залишаються незмінними. Тому для запобігання помилкового визначення початку циклу повторну перевірку кодової комбінації, відповідної коду синхросигналу, проводять через період циклу  $T_{ц}$ . Якщо кодова комбінація синхросигналу через  $T_{ц}$  повторюється, то приймається рішення про синхросигналами. Причому, подібна перевірка повторюється багаторазово.

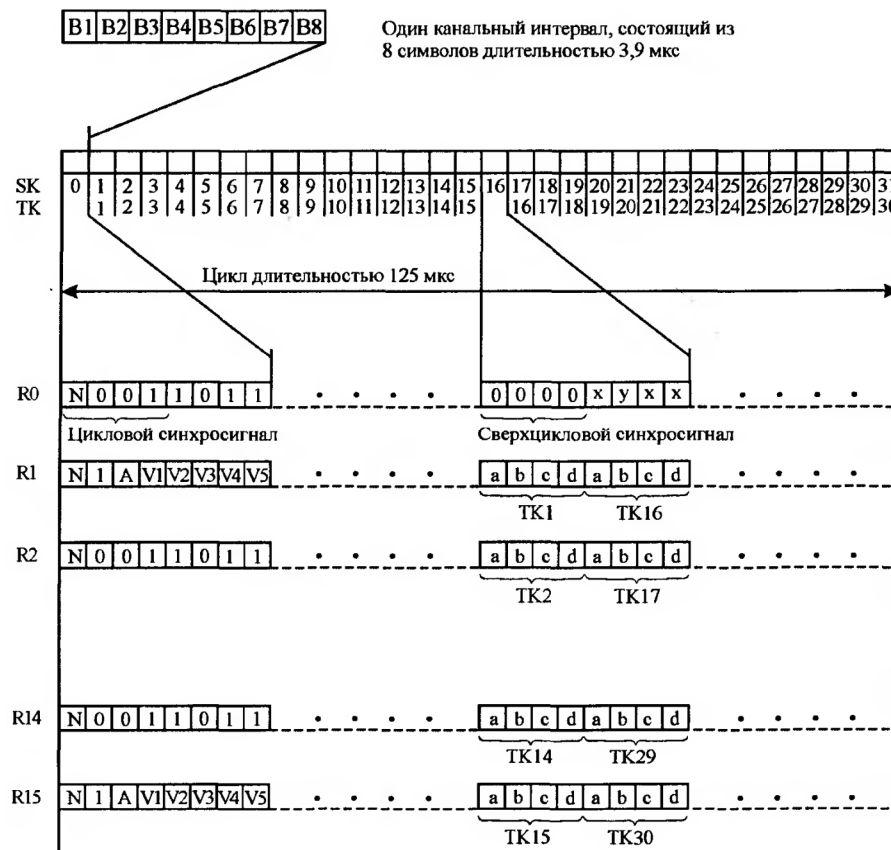


Рис.4. Цикл ІКМ 30/32

TK – номер телефонного каналу; RO, ..., 15 – цикли в надциклі; SK – каналний інтервал; VI, ..., V8 – кодове слово довжиною 8 біт; N – біт зарезервований для міжнародного використання (значення символу не визначене, в даний час повинен приймати значення 1); A – передача сигналу аварії до апаратури ІКМ протилежного кінця лінії зв'язку; V1, ..., V5 - символи, призначені для національного використання (на цифрових трактах, які перетинають державний кордон ці символи повинні мати значення 1);

Інтервали КІ0 в парних циклах призначаються для передачі циклового синхросигналу (ЦСС), що має вигляд 0011011 і що займає інтервали Р2-Р8. В інтервалі Р1 всіх циклів передається інформація каналу передачі даних (ДІ). У непарних циклах інтервали Р3 і Р6 КІ0 використовуються для передачі інформації про втрату циклової синхронізації (Авар. ЦС) і зниження залишкового загасання каналів до значення, при якому в них може виникнути самозбудження. Інтервали Р4, Р5, Р7 і Р8 є вільними, їх займають одиничними сигналами для поліпшення роботи визначників тактової частоти.

У інтервалі КІ16 нульового циклу (Ц0) передається надцикловий синхросигнал вигляду 0000 (Р1 - Р4), а також сигнал про втрату надциклової синхронізації (Р6 - Авар. СЦС). x – резервний символ (в разі, коли він не використовується, повинен мати значення 1), у – символ, який використовується для індикації виходу з надциклового синхросигналу; a, b, c, d – символи для організації загального каналу сигналізації (ЗКС), якщо b, c та d НЕ використовуються для ОКС, вони повинні мати такі значення: b = 1, c = 0, d = 1.

Останні три розрядні інтервали вільні. У каналному інтервалі КІ16 решти циклів (Ц1 - Ц15) передаються сигнали службових каналів СК1 і СК2, причому в Ц1 передаються СК для 1-го і 16-го каналів ТЧ, в Ц2 - для 2-го і 17-го і так далі Інтервали Р3, Р4, Р6 і Р7 вільні.

Будь-яка ІКМ-апаратура характеризується наступними технічними параметрами:

- часом одного періоду дискретизації:  $T_{Ц}=125 \text{ мкс}$  ( $f_0=8\text{кГц}$ , тоді:  $T_{Ц}=1/f_0=1/8=125\text{мкс}$ );  $f_0=2 \cdot f_{\text{max}} = 2 \cdot 3,4 = 6,8\text{кГц}$
- частотою дискретизації, яка згідно теореми Котельникова:  $f_0=8 \text{ кГц}$ ;
- часом, що відводиться для одного каналу:  $\tau_{ІК}=3,9\text{мкс}$ ;
- кількістю елементів в кодовій групі:  $n=8 \text{ розрядів}$  (для якісної передачі мови кількість рівнів квантування ЦСП  $m=256$ , тому розрядність кодової комбінації  $n=\log_2 m = \log_2 256 = 8$ );
- кількістю часових каналів:  $k=32$  ( $k= T_{Ц} / \tau_{ІК}=32 \text{ канали}$ );
- часом передачі одного елемента коду:  $\tau_E=0,47$  ( $\tau_{ІК}/ n=0,49\text{мкс}$ );
- швидкістю передачі інформації по з'єднувальному тракту:  $V=2048\text{кбіт/с}$  ( $V=f_0 \cdot n \cdot k=8 \cdot 8 \cdot 32=2048\text{кбіт/с}$ );
- швидкістю передачі інформації одного каналу:  $V_k$  ( $V_k=f_0 \cdot n=8 \cdot 8=64\text{кбіт/с}$ ).

### **Л.3. Плезіохронні та синхронні системи передавання**

#### **1. Особливості побудови та ієрархія цифрових систем передачі.**

Основною тенденцією розвитку телекомунікацій в усьому світі є цифровізація мереж зв'язку, що передбачає побудову мережі на базі цифрових методів передачі і комутації. Це пояснюється наступними істотними перевагами цифрових методів передачі перед аналоговими.

- Висока стійкість перед перешкодами. Подання інформації в цифровій формі дозволяє здійснювати регенерацію (відновлення) цих символів при передачі їх по лінії зв'язку, що різко знижує вплив перешкод і спотворень на якість передачі інформації.
- Слабка залежність якості передачі від довжини лінії зв'язку. У межах кожного регенераційної ділянки спотворення переданих сигналів виявляються незначним. Довжина регенераційної ділянки та обладнання регенератора при передачі сигналів на великі відстані залишаються практично такими самими, як і в разі передачі на малі відстані. Так, при збільшенні довжини лінії в 100 разів для збереження незмінним якості передачі інформації досить зменшити довжину регенераційної ділянки лише на кілька відсотків.
- Стабільність параметрів каналів ЦСП. Стабільність і ідентичність параметрів каналів (залишкового загасання, частотної та амплітудної характеристик та ін.) Визначаються в основному пристроями обробки сигналів в аналоговій формі. Оскільки такі пристрої становлять незначну частину обладнання ЦСП, стабільність параметрів каналів в таких системах значно вище, ніж в аналогових. Цьому також сприяє відсутність в ЦСП впливу завантаження системи на параметри окремих каналів.
- Ефективність використання пропускну здатності каналів для передачі дискретних сигналів. При введенні дискретних сигналів безпосередньо в груповий тракт ЦСП швидкість їх передачі може наближатися до швидкості передачі групового сигналу. Якщо, наприклад, при цьому будуть використовуватися часові позиції, що відповідають тільки одному каналу ТЧ, то швидкість передачі буде близька до 64 кбіт/с, в той час як в аналогових системах вона зазвичай не перевищує 33,6 кбіт/с.
- Можливість побудови цифрової мережі зв'язку. Цифрові системи передачі в поєднанні з цифровими системами комутації є основою цифрової мережі зв'язку, в якій передача, транзит і комутація сигналів здійснюються в цифровій формі. При цьому параметри каналів практично не залежать від структури мережі, що забезпечує можливість побудови гнучкої розгалуженої мережі, що володіє високими показниками надійності і якості.
- Високі техніко-економічні показники. Передача і комутація сигналів в цифровій формі дозволяють реалізовувати обладнання на єдиних апаратних платформах. Це дозволяє різко знижувати трудомісткість виготовлення обладнання, значно знижувати його вартість, споживану енергію і габарити. Крім того, істотно спрощується експлуатація систем і підвищується їх надійність.

Спочатку мережі з комутацією каналів створювалися для передачі телефонного трафіку. У таких мережах, на відміну від мереж з комутацією пакетів, немає загальної моделі, подібної моделі OSI або TCP/IP, хоча набір ієрархія мережевих протоколів і швидкостей передачі також існує. Структура первинної мережі зумовлює об'єднання і розділення потоків переданої інформації, тому використовувани у ньому системи передачі будуються за ієрархічним принципом.

Аналогові системи передачі з ЧРК також будуються за ієрархічним принципом, але на відміну від ЦСП для них ступенями ієрархії є не самі системи передачі, а типові групи каналів. Стосовно до цифрових систем цей принцип полягає в тому, що кількість каналів ЦСП, що відповідає даному ступеню ієрархії, більше числа каналів ЦСП попереднього ступеня в ціле число раз.

Цифрова система передачі, відповідно до першого ступеня ієрархії, називається первинною; в цій ЦСП здійснюється пряме перетворення відносно невеликого числа первинних сигналів в первинний цифровий потік. Системи передачі другого ступеня ієрархії об'єднують певне число первинних потоків у вторинний цифровий потік і т.д.

У рекомендаціях ІТУ-Т представлено два типи ієрархій ЦСП: плезіохронна цифрова ієрархія (ПЦІ, PDH) і синхронна цифрова ієрархія (СЦІ, SDH). Первинним сигналом для обох типів ЦСП є цифровий потік зі швидкістю передачі 64 кбіт/с, що має назву основного цифрового каналу (ОЦК). Для об'єднання сигналів ОЦК в групі високошвидкісні цифрові сигнали використовується принцип часового поділу каналів.

Об'єднання цифрових потоків може бути побітним і побайтним. перше використовується в системах плезіохронної цифрової ієрархії PDH, друге – в системах синхронної цифрової ієрархії SDH.

## **2. Плезіохронна цифрова ієрархія**

Плезіохронна цифрова ієрархія (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy) – цифровий метод передачі даних і голосу, заснований на часовому поділі каналу і технології подання сигналу за допомогою імпульсно-кодової модуляції (ІКМ). Перша створена у 1962 році система з ІКМ була впроваджена на мережі США: 24-канальна система T1 з семирозрядним кодуванням і з груповою швидкістю передачі 1,544 Мбіт/с. Первинний цифровий потік E1 зі швидкістю передачі 2048 кбіт/с і з 8-розрядним логарифмічним кодуванням покладено в основу європейської цифрової ієрархії, розробленої у Франції і затвердженої в 1968. При виборі параметрів первинної системи типу ІКМ-30 орієнтувалися на створення в майбутньому повністю цифрових мереж і тому робочі швидкості блоків системи - цілі ступеня числа 2.

Швидкості цифрових потоків одного і того самого ступеня ПЦІ, але утворених ЦСП, розташованими на різних станціях мережі, можуть дещо відрізнятися один від одного в межах допустимої нестабільності частот задають генераторів. Саме тому розглянута ієрархія ЦСП називається

плезіохронною. Наявність нестабільності задаючих генераторів вимагає прийняття спеціальних заходів при об'єднанні потоків в потік вищого рівня ієрархії, що помітно ускладнює експлуатацію первинної мережі зв'язку в цілому і знижує її якісні показники. Цими заходами є процедура цифрового вирівнювання.

Цифровим вирівнюванням називається метод приведення змінної швидкості цифрового потоку, що об'єднується, до певної опорної швидкості, якою, в даному випадку, є швидкість системи вищого рівня у перерахунку на один цифровий сигнал нижчого рівня. Це вирівнювання виконується шляхом введення в цифровий канал додаткових (вирівнювальних символів чи видалення інформаційних символів, причому значення видалених символів передаються на приймальній пристрій за допомогою виділених у цифровому сигналі службових каналів).

Плезіохронна цифрова ієрархія з'явилася історично першою і має європейську, північноамериканську і японську різновиди (Табл.1).

Таблиця 1. Види плезіохронної цифрової ієрархії

Рівень ієрархії	Європа		Північна Америка		Японія	
	Шв., Мбіт/с	Коеф. мульти-плекс.	Шв., Мбіт/с	Коеф. мульти-плекс.	Шв., Мбіт/с	Коеф. мульти-плекс..
0	0,064	-	0,064	-	0,064	-
1	2,048	30	1,544	24	1,544	24
2	8,448	4	6,312	4	6,312	4
3	34,368	4	44,736	7	32,064	5
4	139,264	4			97,728	3

*Принципи синхронізації ЦСП.* У плезіохронних ЦСП використовується принцип ЧРК, тому правильне відновлення вихідних сигналів на прийомі можливо тільки при синхронної і синфазної роботи генераторного обладнання на передавальній і приймальній станціях. Для нормальної роботи плезіохронних ЦСП повинні бути забезпечені наступні види синхронізації:

- тактова синхронізація забезпечує рівність швидкостей обробки цифрових сигналів в лінійних і станційних регенераторах, кодерах і інших пристроях ЦСП, які здійснюють обробку сигналу з тактовою частотою FT;
- циклова синхронізація забезпечує правильне поділ і декодування кодових груп цифрового сигналу і розподіл декодованих відліків по відповідних каналах в приймальні частини апаратури;
- надциклова синхронізація забезпечує на прийомі правильний розподіл сигналів управління і взаємодії (СУВ) за відповідними телефонними каналами. СУВ є набором сигналів, які керують роботою АТС (набір номера, відповідь, відбій, роз'єднання і ін.)

При побітному об'єднанні потоків в ЦСП зазвичай використовується часове ущільнення, коли тривалість інформаційних імпульсів зменшується у стільки разів, скільки потоків об'єднується. При об'єднанні 4 потоків (рис. 1)

тактові інтервали  $T_{T1}$  потоків, що об'єднуються, і надходять з частотою  $F_{T1}$ , зменшуються в 4 рази, тобто у сумарного потоку їх частота зростає в 4 рази до  $F_{T2}$ .

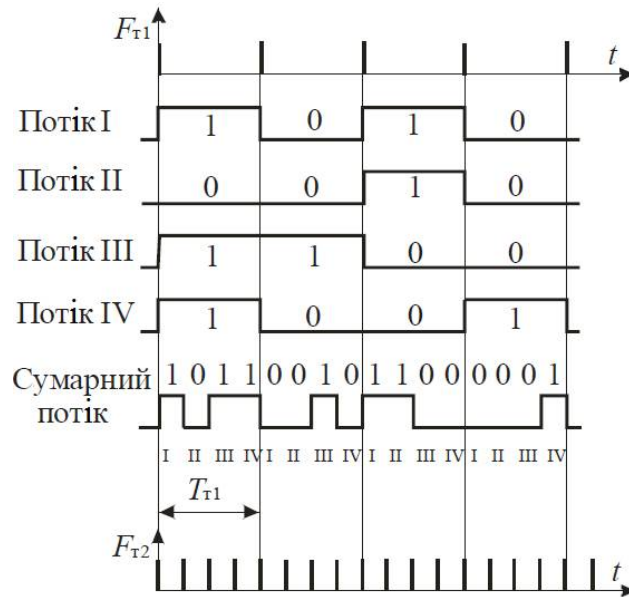


Рис.1 Об'єднання 4 потоків у ПЦІ

У сумарному потоці протягом інтервалу  $T_{T1}$  спочатку передається символ першого об'єданого потоку I, потім другого II, третього III і четвертого потоку IV. Потім все повторюється в наступному тактовому інтервалі.

Структурна схема об'єднання цифрових потоків наведена на рис. 2. У схемі використовуються мультиплектори MUX, які об'єднують (ущільнюють) потоки на передавальній стороні і поділяють сумарний потік на складові компоненти на приймальній стороні.

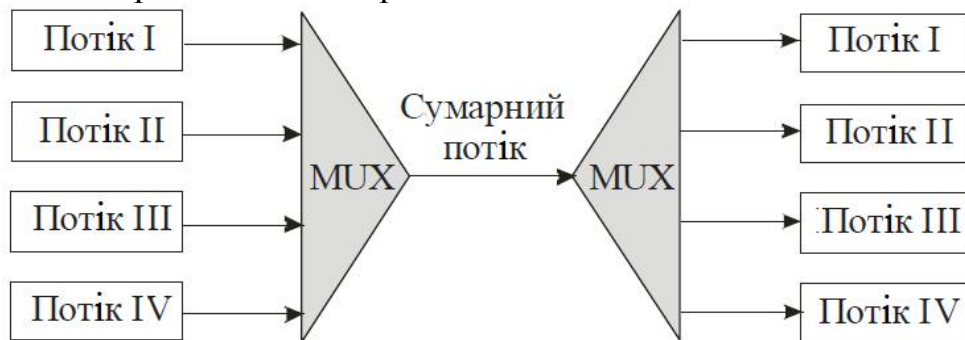


Рис.2 Структурна схема об'єднання цифрових потоків

В Європейській системі плезиохронної цифрової ієрархії ПЦК позначається E1. Мультиплексування (об'єднання) 4-х потоків E1 створює вторинний потік E2. Чотири потоку E2 формують третинний потік E3, а при мультиплексуванні чотирьох потоків E3 отримують потік E4.

При об'єднанні чотирьох потоків E1, що мають швидкості 2048 кбіт/с, утворюється потік E2 (ІКМ-120). У циклі потоку E1 міститься 32 каналних інтервалу по 8 біт, тобто 256 біт (Рис 3).

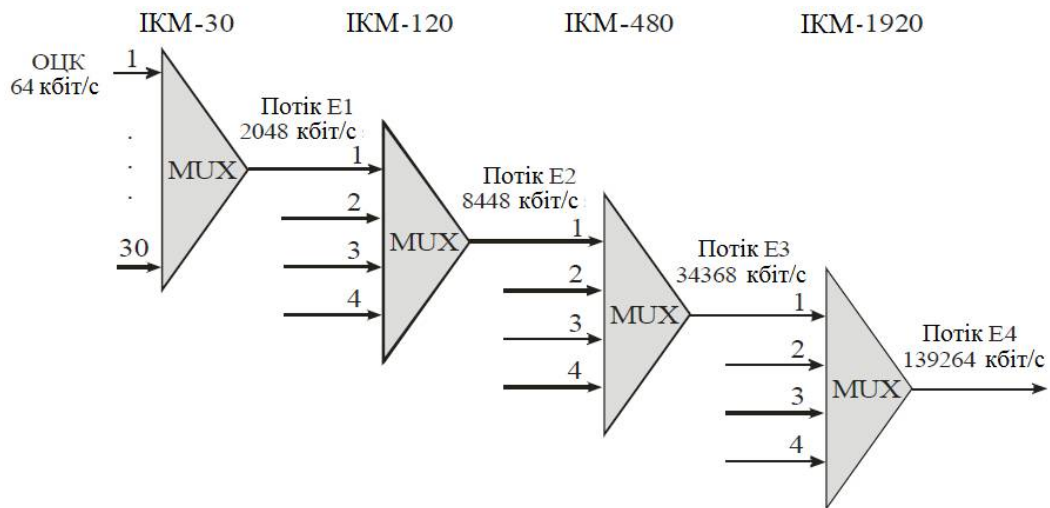


Рис.3 Структурна схема об'єднання цифрових потоків від ОЦК до Е4

Тому в циклі потоку Е2 міститься  $256 \text{ біт} \times 4 = 1024$  інформаційних біта і додатково службових 32 біта, таким чином швидкість передачі вторинного потоку буде

$$E2 \rightarrow (1024 + 32) \text{ біт} \times 8 \text{ кГц} = (2048 \times 4 + 256) \text{ кбіт/с} = 8448 \text{ кбіт/с}.$$

Третинний цифровий потік Е3 (ІКМ-480) утворюється шляхом мультиплексування чотирьох вторинних потоків з додаванням службової інформації третинного потоку і його швидкість становить

$$E3 \rightarrow (8448 \times 4 + 576) \text{ кбіт/с} = 34368 \text{ кбіт/с}.$$

Четвертинний цифровий потік Е4 (ІКМ-1920) утворюється шляхом мультиплексування чотирьох теоретичних потоків з додаванням службової інформації четвертинного потоку і його швидкість становить

$$E4 \rightarrow (34368 \times 4 + 1792) \text{ кбіт/с} = 139264 \text{ кбіт/с}.$$

### 3. Синхронна цифрова ієрархія

Хоча ЦСП плезіохронної ієрархії були значним кроком у розвитку зв'язку в порівнянні з аналоговими системами, проте ЦСП ПЦІ притаманний ряд недоліків.

По-перше, наявність трьох різних ієрархій (європейської, північноамериканської та японської) вкрай ускладнює організацію міжнародного зв'язку.

По-друге, в ЦСП ПЦІ утруднене введення/виведення цифрових потоків в проміжних пунктах і виникає парадоксальна ситуація, коли для виділення низької потоку потрібно непропорційно велика кількість складного обладнання (див. Рис. 6.30). Даний недолік стає особливо істотним при необхідності частого введення/виведення цифрових потоків уздовж магістралі.

Крім того, істотним недоліком ПЦІ є відсутність можливостей мережевого автоматизованого контролю та управління, без яких неможливо створити мережу зв'язку, що задовольняє сучасним вимогам до якості обслуговування і надійності. Такі можливості (в обмеженому обсязі) є в ПЦІ

лише на рівні ліній передачі, однак, вони не стандартизовані, тому розроблені різними виробниками обладнання ПЦІ системи контролю та управління лінійних трактів несумісні. Вони не здатні здійснювати контроль і управління груповими трактами "від краю до краю" і всієї мережею загалом.

При порушеннях синхронізації групового сигналу в ПЦІ порівняно великий час потрібно на багаторівневе відновлення синхронізації компонентних потоків.

Подолати недоліки, залишаючись в рамках ПЦІ, було неможливо. Тому, коли в середині 80-х років застосування волоконно-оптичних ліній зв'язку дозволило істотно підвищити швидкості передачі, а впровадження цифрових комутаційних станцій дало можливість створювати повністю цифрові синхронні мережі, почалася робота по переходу до СЦІ.

У якості лінії зв'язку в СЦІ застосовуються ВОЛЗ. Не випадково американський варіант СЦІ носить назву SONET – (Synchronous Optical NETwork), що перекладається як "синхронна оптична мережа". У європейському варіанті СЦІ можливе використання і радіорелейних ліній, які застосовуються досить давною.

СЦІ дозволяє організувати універсальну транспортну систему, що охоплює всі ділянки мережі і виконує функції як передачі інформації, так і контролю і управління. Вона розрахована на транспортування всіх сигналів ПЦІ, а також всіх діючих і перспективних служб, в тому числі і широкосмугової цифрової мережі з інтеграцією служб (B-ISDN), використовує асинхронний спосіб перенесення (ATM).

В СЦІ використані останні досягнення в електроніці, системотехніці, обчислювальній техніці і т.д. Її застосування дозволяє істотно скоротити обсяг і вартість апаратури, експлуатаційні витрати, скоротити терміни монтажу і налаштування обладнання. У той же час значно підвищуються надійність і живучість мереж, їх гнучкість, якість зв'язку.

Лінійні сигнали СЦІ організовані в так звані синхронні транспортні модулі STM (Synchronous Transport Module) (Табл. 2). Перший з них – STM-1 - відповідає швидкості 155 Мбіт/с. Кожен наступний має швидкість в 4 рази більшу, ніж попередній, і утворюється побайтним синхронним мультиплексуванням. Уже стандартизовані STM-4 (622 Мбіт/с) і STM-16 (2,5 Гбіт/с), очікується прийняття і STM-64 (10 Гбіт/с).

Таблиця 2. Швидкості синхронних транспортних модулів STM

Рівень	Модуль	Швидкість передачі
1	STM-1	155 Мбіт/с
4	STM-4	622 Мбіт/с
16	STM-16	2,5 Гбіт/с

Транспортні модулі циклічно повторюються з періодом 125 мкс (з частотою 8 кГц). Нумерація модулів STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256 відображає коефіцієнт мультиплексування і рівень ієрархії. При мультиплексуванні потоків систем SDH додатково службова інформація в



об'єднаний потік не вводиться, що дозволяє виділяти довільний компонентний потік з агрегованого потоку. Вся додаткова службова інформація в об'єднаний потік вводиться на рівні модуля STM-1. Структурна схема мультиплексування потоків PDH європейського стандарту в агрегатний модуль рівня N (STM-N) приведена на рис.10.5.

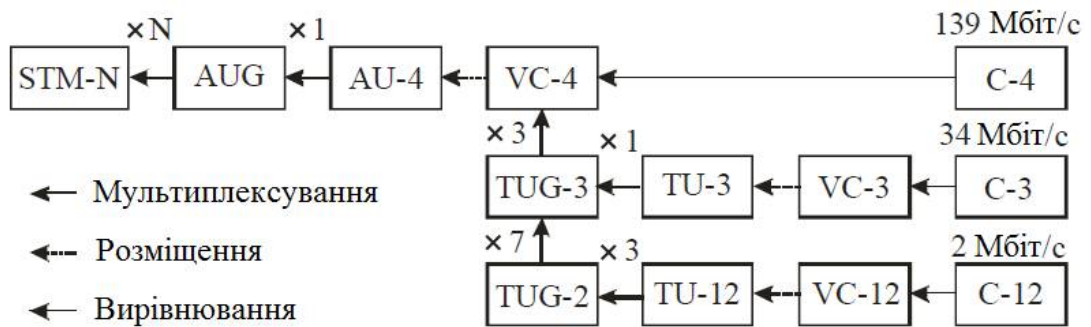


Рис.4. Європейська схема перетворення СЦ

Потік E1 (2048 кбіт/с) являє собою циклічне повідомлення в 32 байта, що надходить з частотою 8 кГц (період 125 мкс). Шляхом додавання 2 вирівнювальних байт інформації (операція вирівнювання) до 32 байт первинного потоку утворюється контейнер C-12. Аналогічно третинний потік E3 перетворюється в контейнер C-3, а четвертинний цифрової потік – в контейнер C-4.

Потім до контейнерів C-12, C-3, C-4 додається трактовий заголовок (*Path Over Head – POH*), при цьому реалізується операція розміщення і формуються віртуальні контейнери VC-12, VC-3, VC-4. Трактовий заголовок VC-12 розміром в 1 байт містить маршрутну інформацію, що забезпечує контроль якості передачі. Операція розміщення полягає в розміщенні інформації на певних позиціях віртуального контейнера, при цьому інформація чергується з бітами трактового заголовка.

Віртуальний контейнер VC-12 перетворюється в компонентний блок (Tributary Unit) рівня TU-12 шляхом додавання покажчика PTR (*PoinTeR*) розміром в 1 байт. Віртуальний контейнер VC-3 при додаванні покажчика PTR перетворюється в компонентний блок рівня TU-3, а віртуальний контейнер VC-4 – в агрегатний блок AU-4.

Три компонентних блока TU-12 мультиплекуються в груповий компонентний блок (Tributary Unit Group) другого рівня TUG-2. Таким чином, TUG-2 буде включати 3 потоки E1 і службову інформацію, що надходить з періодом 125 мкс.

У свою чергу, сім блоків TUG-2 мультиплекуються в груповий компонентний блок третього рівня TUG-3, в якому додаткові 18 байт займає службова інформація. TUG-3 буде включати 21 потік E1. Груповий компонентний блок третього рівня TUG-3 може також утворений з компонентного блоку TU-3 з коефіцієнтом мультиплексування рівним 1. Шляхом мультиплексування 3 блоків рівня TUG-3 утворюється віртуальний контейнер рівня VC-4, який, як було зазначено вище, може бути сформований

безпосередньо з контейнера C-4. При формуванні віртуального контейнера VC-4 додається *трактовий заголовок в 9 байт та 18 байт порожнього поля*.

Віртуальний контейнер VC-4 перетворюється в адміністративний блок AU-4, який потім перетворюється в груповий адміністративний блок AUG-4 з коефіцієнтом мультиплексування 1. Синхронний транспортний модуль рівня N (STM-N) реалізується шляхом мультиплексування блоків AUG-4 і додавання заголовка *регенераційної 132 секції (Regeneration Section Over Head – RSOH) і заголовка мультиплексованої секції (Multiplex Section Over Head – MSOH)*.

Таким чином, віртуальний контейнер VC-4 і STM-1 будуть містити або 63 потоки E1, або 3 потоки E3, або 1 потік E4. Доречно нагадати, що потік E4 системи PDH містить 4 потоки E3 або 64 потоки E1. Втрата 1 потоку E1 або 1 потоку E3 – це плата за можливість отримувати будь-який довільний компонентний потік, наприклад, E1 (або E3) з потоку STM-1 без повного демультимплексування агрегованого потоку, як це було в системі PDH.

## Лекція 8. Декадно-крокова та координатна станції

### 1 Принципи побудови декадно-крокових АТС

Комутація у декадно-крокових АТС виконується безпосереднім управлінням сигналів набору номеру викликаючим абонентом без використання централізованих управляючих пристроїв. Наприклад, при наборі цифри «3» шукач виконує кроки вгору на 3 рівні, шукає вільний шукач з тих, що підключені до цього третього рівня. Контакти зупиняються на виході, що з'єднаний з першим вільним шукачем 3 рівня і цей прилад приймає наступну набрану цифру. Тобто абонент сам управляє вибором маршруту через уся станцію.

У функціональній схемі АТС на 10 номерів використовується безпосереднє вмикання абонентських ліній у шукачі, використовуються лише лінійні шукачі (ЛШ).

Найпростіша АТС на десять номерів може бути побудована за допомогою десяти крокових шукачів (Рис.1). Телефонний апарат кожного абонента через абонентську лінію підключається до рухомих контактам (щіток) свого шукача. Однойменні виходи шукачів запаралелені, тобто контакти з однойменними номерами об'єднані в окремі ланцюги і до кожної підключається АЛ. Номер АЛ відповідає номеру контактів, до яких вона підключена. При встановленні з'єднання щітка шукача абонента під дією імпульсів від номеронабирача телефонного апарату підключається до нерухомого контакту, відповідному номеру абонента. По завершенні розмови щітка встановлюється в початковий стан. Рух щіток шукача, що управляється імпульсами струму, що поступає на обмотку електромагніту у результаті набору номера абонентом називається **вимушеним рухом**.

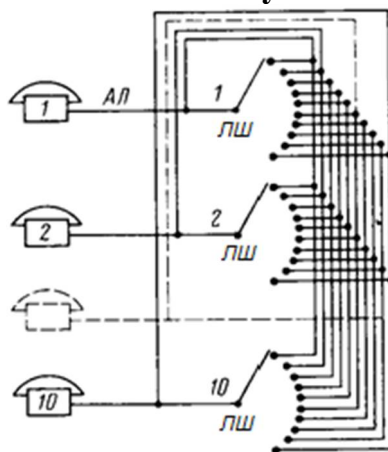


Рис.1. Структурна схема крокової АТС на десять номерів

Шукачі, в контактне поле яких включаються абонентські лінії, називаються **лінійними ЛШ**. Сукупність шукачів, що виконують однакові функції в процесі встановлення з'єднання на станції, називаються каскадом (ланкою) шукання. В даному випадку станція має один каскад лінійного шукання.

Телефонну станцію на 100 номерів можна побудувати, використовуючи 100 штук ДШМ. Кожна АЛ підключається до щіток свого ДШМ і до однойменних контактам поля всіх 100 шукачів. Абоненти мають двозначні номери. Побудова АТС за принципом безпосереднього включення абонентських ліній в ЛШ типу ДШМ є неекономічним, оскільки вимагає великого числа дорогих шукачів, що неефективно використовуються. Як показує практика, одночасно ведуть переговори не більше 20 з 100 абонентів станції. Отже, працюють 20 ДШМ, а решта 80, як правило, простоюють.

Оскільки кожен шукач є індивідуальним пристроєм кожного абонента, то коефіцієнт використання такого шукача є невисоким. Для збільшення ефективності використання лінійний шукач роблять колективним приладом і надають його у використанні лише на час з'єднання.

Це досягається введенням в схему каскаду **попереднього шукання** (ПШ) для кожної АЛ (Рис. 2). Число попередніх шукачів рівне числу АЛ. За допомогою каскади ПШ забезпечується підключення АЛ до будь-якого з вільних ЛШ. Підйомний і обертальний рух ЛШ буде відбуватися під керуванням імпульсів, які набираються абонентом. В першу декаду ЛШ підключаються лінії абонентів з десятковим номером 1, а в останню – з десятковим номером 0 (виходи контактної поля, що мають однакові номери, запаралелені).

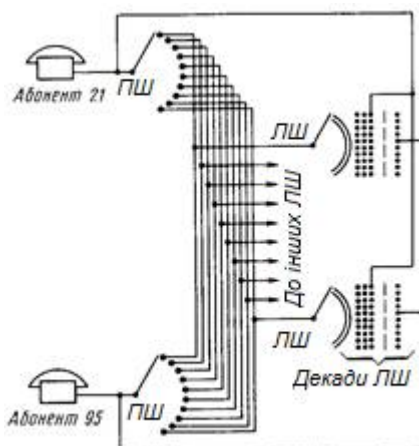


Рис.2. Структурна схема декадно-крокової АТС на 100 номерів з каскадом ПШ

При встановленні з'єднання ПШ автоматично відшукує і підключає вільний ЛШ до лінії абонента. Даний процес називається **вільним шуканням**. Каскад ПШ не впливає на кількість цифр в номері. Імпульси двозначного номера, що надходять від телефонного апарату абонента, керують роботою ДШК, в результаті встановлюється необхідне з'єднання.

Каскад ПШ зменшує об'єм комутованого обладнання і для обслуговування 100 абонентів ДКС необхідно мати 10-15 ЛШ. У каскаді ПШ використовуються прості і порівняно недорогі крокові шукачі (їх вартість у 7-8 разів менша за вартість ДКШ). Станція на 100 номерів має 100 ПШ (КШ) і 10 ЛШ (ДКШ).

Ємність розглянутих АТС визначається ємністю контактної поля шукачів. Однак збільшення ємності контактної поля шукачів обмежені

конструктивними труднощами і їх вартістю. Тому максимальна ємність реальних ДШК не перевищує 100 виходів (вийняток ДКШ-500).

Збільшення ємності декадно-крокових АТС при заданій ємності шукачів досягається за рахунок введення додаткового каскаду **групового шукання** ГШ між каскадами ПШ і ЛШ. Суть групоутворення полягає в тому, що загальна ємність АТС ділиться на групи, ємність яких дорівнює ємності контактних полів ЛШ. У межах кожної групи лінійного шукача однакові входи контактних груп запаралелюються. Каскад ГШ виконує вибір групи, в якій знаходиться лінія абонента. На каскаді ГШ використовуються такі ж шукачі, що і на каскаді ЛШ. Так ємність АТС на 1000 номерів ділиться на 10 груп по 100 ліній в групі. Застосовується тризначна нумерація АЛ.

Розглянемо принцип групоутворення на прикладі АТСДШ ємністю  $N = 1000$  номерів (Рис.3). У каскадах ЛШ і ГШ застосовуються шукачі типу ДКШ-100, а у каскаді - ПШ - КШ-11

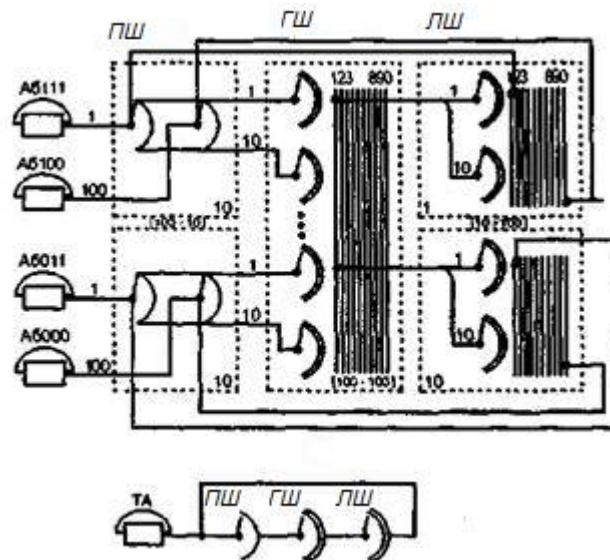


Рис.3. Спрощена структурна схема АТСДК на 1000 номерів

Загальна ємність АТС ділиться на 10 груп, при цьому кожна з них у каскаді ЛШ формується десятма ДШК, в контактне поле яких багаторазово включено 100 АЛ. Таким чином, для кожної групи виходить одноланковий комутаційний блок [10x100]. Десять таких блоків формують на виході АТС ланку комутації [100x1000].

Для вибору необхідної групи на АТС встановлюється ступінь ГШ, реалізована на шукачів типу ДКШ-100, однойменні виходи яких запаралелені. Входи кожної групи каскадів ЛШ паралельно включаються до окремої декади всіх ДКШ каскаду ГШ. Таким чином, від першої декади ГШ утворюється 10 виходів, які підключаються до 10 щіток ЛШ, які обслуговують першу сотню абонентів, від другої декади відповідно 10 виходів до десяти ЛШ, які обслуговують другу сотню абонентів і т.д.

При надходженні 1 серії імпульсів (цифра сотень) ГШ виконує підйомний рух (вимушений). У міжсерійному інтервалі виконується вільний обертовий рух до тих пір, поки щітки ГШ не зупиняться на виході вільного

ЛШ. Після набору десятків і одиниць 2 серії імпульсів обробляються підйомним і обертовим рухом ЛШ.

Для подальшого збільшення ємності АТС слід ввести другу сходинку групового шукання. Гранична ємність АТС при цьому зростає до 10000 номерів.

Нумерація абонентських ліній повинна бути чотиризначною (0000 ... 9999). Спрощена схема АТС з двома каскадами ГШ на 10000 номерів представлена на рис.4. Перша цифра повинна надходити на I ГШ для пошуку потрібної тисячної групи, друга – на II ГШ для пошуку сотенної групи в цій тисячній і останні дві цифри надходять на ЛШ для підключення до лінії абонента, що викликається в даній сотенній групі. Функції I ГШ і II ГШ з пошуку ліній повністю збігаються. В обох приладах підйомні рухи вимушені, а обертові рухи вільні.

Подальше збільшення ємності АТС досягається введенням третього і четвертого каскадів групового шукання.

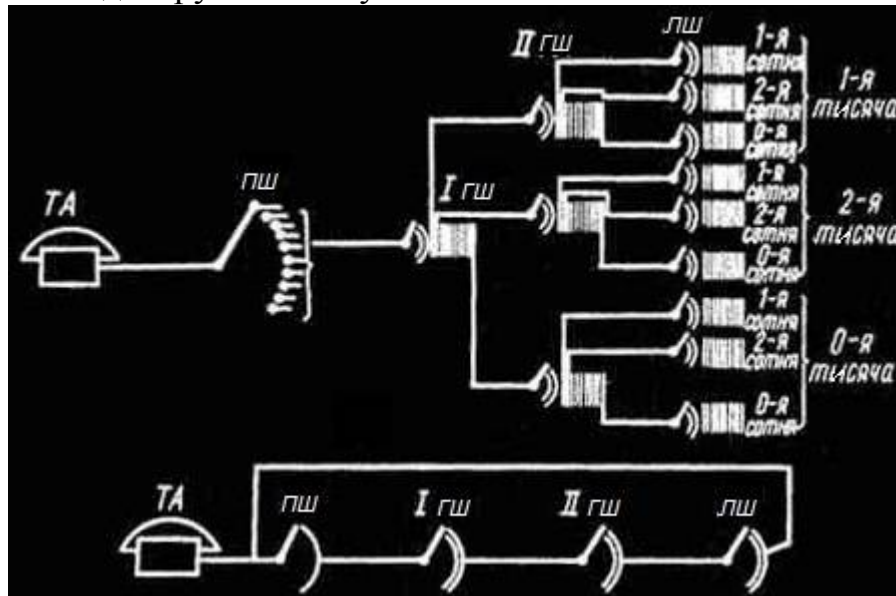


Рис.4. Спрощена структурна схема АТС на 10 000 номерів

## 2. Принципи побудови координатних АТС

У функціональній схемі АТС на 10 номерів використовується безпосереднє вмикання абонентських ліній у шукачі, використовуються лише лінійні шукачі (ЛШ).

### 2.1 Характеристика АТСК-У

Обладнання АТСКУ використовується в якості:

- районних АТС;
- вузлів вхідного та вихідного сполучення;
- вузлів сільсько-приміських (ВСП);
- центральних АТС сільських адміністративних районів;
- вузлів спецслужб.

Ємність АТСК-У – від 1 000 до 10 000 номерів, але економічно вигідна є ємність понад 3 000 номерів. АТСК-У будується на базі трьох типових блоків каскадів:



- АП – абонентського пошуку;
- ГП – групового пошуку;
- РПА, РПВ – реєстрового абонентського та вхідного пошуку.

Кожен блок АП, ГП, РП має індивідуальні маркери, які встановлюють з'єднання в межах блока.

В АТСК-У використовуються три типи реєстрів: абонентські, вхідні, вихідні. Обмін сигналами поміж реєстрами й маркерами здійснюється БЧК «2 з 6». Для обміну БЧК є загально станційні багаточастотні генератори частотних сигналів й кодові приймачі-передавачі в реєстрах та маркерах.

Електроживлення телефонних апаратів, надсилання виклику і КНВ, утримування з'єднань та приймання сигналів відбою здійснюється з ВШК та ВихШК. В АТСК-У абонент отримує сигнал «Зайнято» із схем ВШК чи ВихШК.

АТСК-У може взаємодіяти з будь-якими типами АТС та АМТС з використанням загальноприйнятих лінійних та керувальних сигналів. Для міжміського зв'язку використовується АВН.

В АТСК-У використовуються індивідуальні та спарені абонентські лінії без взаємного зв'язку, таксофони та з'єднувальні лінії з ВАТС.

Для електроживлення АТСК-У використовується напруга – 60 (+6,-4) В. В АТСК-У ємністю 10 000 номерів струм електроживлення перевищує 500 А.

В межах розмовної смуги частот ( $D_f = 0,3 \dots 3,4$  кГц) послаблення, яке вноситься станцією, не перевищує 0,9 дБ.

Параметри ліній в АТСК-У наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри абонентських ліній.

Вид ліній	$R_L$ , Ом	$R_{L3}$ , мОм	$C$ , мкФ
Звичайна АЛ	500x2	80	0,5
Віддалені АЛ	1700x2	20	1,0
З'єднувальні лінії	1500x2	150	1,6

## 2.2. Побудова каскадів пошуку системи АТСК-У

### Ступінь абонентського пошуку

Вихідне з'єднання у каскаді абонентського пошуку здійснюється через два каскади АВ, а вхідне – через чотири DC, ВА. Розглянемо схему рис. 5.

Абонентські лінії об'єднуються в тисячні групи. В одній групі 10 блоків АВ та 3-4 блоки CD.

**Блок АВ** має параметри 100x60x(20+20).

До блока АВ вмикаються 100 абонентських ліній, 20 вихідних ліній – до ВихШК й 20 проміжних ліній – для зв'язку з блоком CD. Поміж каскадами А та В є 60 проміжних ліній.

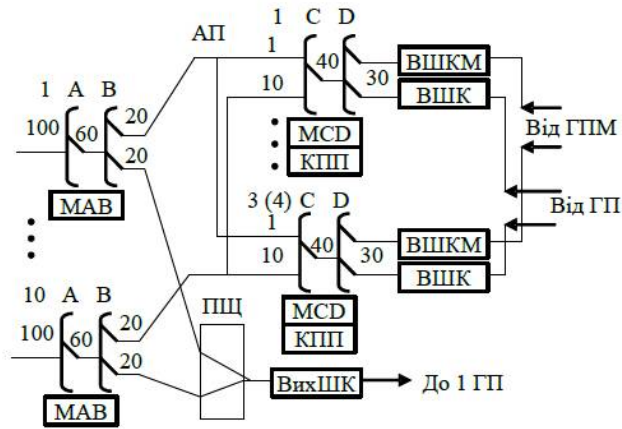


Рис. 5. Каскад абонентського пошуку АТСК-У

На обох каскадах використовуються БКЗ 20x10x6, розміщених на одному стативі, на якому розміщено також 100 абонентських комплектів. Абонентські лінії вмикаються до контактів поля БКЗ каскаду *A*. При цьому використовується так зване транспоноване вмикання абонентських ліній. Принцип транспонованого вмикання АЛ є такий. На каскаді *A* замість десяти комутаторів використовується 20 комутаторів: перші десять – по чотири вертикалі на БКЗА-1 й БКЗА-2, другі десять – по дві вертикалі на БКЗА-3. В перші десять комутаторів вмикаються абонентські лінії з однаковою цифрою одиниць а в другі десять – з однаковою цифрою десятків. За транспонованого вмикання, як і за прямого, одній абонентській лінії доступні шість проміжних ліній (рис. 6). За допомогою ПЛ абонентська лінія має доступ до 20 вихідних ліній. Однак кількість проміжних ліній, доступних одному десяткові, є значно більше. Приміром десяткові з однаковою цифрою одиниць доступні 24 проміжних ліній, десяткові з однаковою цифрою десятків – 42 проміжних лінії а десяткові з однаковими цифрами (11, 22, ... 00) – всі 60 ПЛ. Транспоноване вмикання збільшує пропускну здатність блока *AB* на 20%.

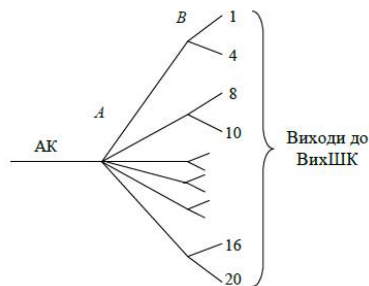


Рис.6 – Граф-схема АП-АВ

**Блок CD** побудовано на БКЗ 100x20x6 в каскаді *D* і БКЗ 20x10x6 в каскаді *C*. Каскад *D* складається з двох комутаторів на 15 входів й 20 виходів кожен. До першого комутатора входять всі вертикалі БКЗ-3 й половина вертикалей БКЗ-5, до другого – відповідно всі вертикалі БКЗ-4 й друга половина вертикалей БКЗ-5.

Каскад *C* складається з 20-ти комутаторів на два входи й десяти виходів кожен. До комутатора входять дві вертикалі, які з'єднуються проміжними лініями з кожним з двох комутаторів каскаду *D*. У відповідності з кількістю сотенних абонентських груп, виходи каскаду *C* поділено на десять напрямків



з доступністю 20. Фактично блок *CD* виконує функції останнього каскаду групового пошуку, який визначає напрямок до сотенної групи. Проте маркер блока працює не самостійно, а разом з маркером блока *AB*, здійснюючи пошук проміжних ліній через всі каскади від входу, до каскаду *D* що зайнявся, до потрібної абонентської лінії, увімкненої до каскаду *A*.

Для вхідного з'єднання недостатньо двох каскадів, тому що у каскаді абонентського пошуку вхідне з'єднання забезпечує лінійний пошук конкретної АЛ. Якщо залишити лише два каскади, то від входу, який зайнявся, до конкретної АЛ є тільки одна проміжна лінія, рис. 7.

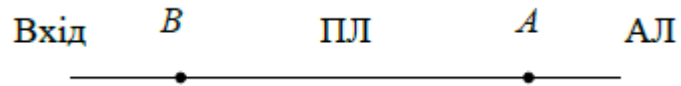


Рис. 7 – Граф лінійного пошуку в двокаскадній схемі

За наявності чотирьох каскадів кількість шляхів від входу до каскаду *D*, який зайнявся, до конкретної АЛ є значна (рис. 8).

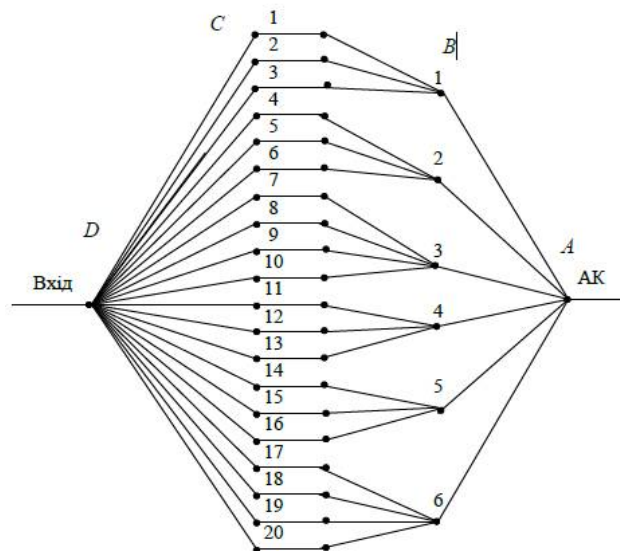


Рис. 8 – Комутаційний граф каскаду АП

### **Каскади групового пошуку**

В системі АТСК-У використовуються декілька типів комутаційних блоків (табл. 2).

Таблиця 2 – Каскади ГП АТСК-У

Назва	Комутаційні параметри	Доступність напрямків	Число та тип БКЗ в каскадах	
			<i>A</i>	<i>B</i>
ГП-3	80x120x400	20, 40, 60	4 – 20x20x3	6 – 20x20x3
ГП-6	60x80x400	20, 40, 60	6 – 10x20x6	8 – 10x20x6
ГПК	40x40x200	10, 20	2 – 20x20x3	2 – 20x20x3
ГП-СПВ	20x40x200	10, 20	2 – 10x20x6	2 – 20x10x6
ГП <sub>СПЕЦ</sub>	20x20x200	10, 20	1 – 20x20x3	1 – 20x20x3

**Блок ГП-3** використовується для побудови першого та третього каскадів групового пошуку. Конструктивно ГП-3 розміщується на двох стативах та побудований на БКЗ 20x20x3. На каскаді *A* використовуються

шість комутаторів з 13-ма та 14-ма входами та 20-ма виходами кожен. На каскаді В – 20 комутаторів з 6-ма входами та 20-ма виходами кожен. До поля комутаторів каскаду В увімкнено 400 виходів. Ці виходи розбито на 20 елементарних напрямків з доступністю 20 кожний. За необхідності організації кількох напрямків з доступністю 40 чи 60 об'єднуються відповідно по два чи три будь-яких елементарних напрямків. Утворювання напрямків з різною доступністю в межах сумарної кількості виходів каскаду ГП – одна з переваг координатних АТС. Ця властивість називається електричним поділом поля каскаду ГП.

Оскільки в блоках ГП виходів з комутатора каскаду А більше ніж входів, тобто це є схема з розширенням, то доступність змінюється від максимальної до мінімальної, яка перевищує нуль. Максимальна та мінімальна доступності розраховуються за формулами:

$$D_{max} = qk_B$$
$$D_{min} = q(m_A - n_A + 1)$$

Параметр  $q$  – кількість виходів з одного комутатора каскаду В в напрямку.

**Блок ГП-6** призначено для каскадів групового пошуку, які встановлюються на вузлах вихідного та вхідного сполучення і забезпечує організацію чотирипровідного транзиту (розмовні проводи  $a, b, e, f$ ) ущільненими з'єднувальними лініями. Поле каскаду В розбивається на напрямки так само, як і у ГП-3.

**Блок ГПК** використовується для створювання каскадів групового пошуку у тих випадках, коли є потрібна невелика кількість вихідних ліній. Приміром, для каскаду ГПК, в поле якої вмикаються з'єднувальні лінії до ВАТС невеликих ємностей. Блок ГПК також використовується для каскаду групового міжміського пошуку.

Особливістю блока ГПК є використання зв'язності 2 та коефіцієнта розширювання на каскаді  $A = 1$ , що зменшує внутрішні блокування. Виходи блока розбиваються на 20 елементарних напрямків з доступністю 10. Можливе є поєднання двох елементарних напрямків задля досягнення доступності 20.

### 2.3. Процеси встановлення з'єднань в АТСК-У

#### **Внутрішньостанційне з'єднання**

Взаємодію регістрів з маркерами АТСК-У розглянемо на прикладі внутрішньостанційного з'єднання. Задля розгляду процесу встановлення з'єднання треба зобразити з'єднувальний тракт від абонента А до абонента Б (рис. 9).

Після зняття мікротелефону замикається шлейф абонентської лінії і в АК спрацьовує лінійне реле. Це призводить до займання маркера блока АВ. Останній визначає номер абонента, який викликав, та здійснює обумовлений пошук вільної проміжної лінії, котра є доступна абонентській лінії й має доступ до вільної вихідної лінії та вільний ВихШК. Внаслідок пошуку МАВ вмикає з'єднувальний тракт від АК до ВихШК. Після вмикання БКЗ маркер

звільнюється, а утримуючі електромагніти БКЗ отримують струм із схеми ВихШК.

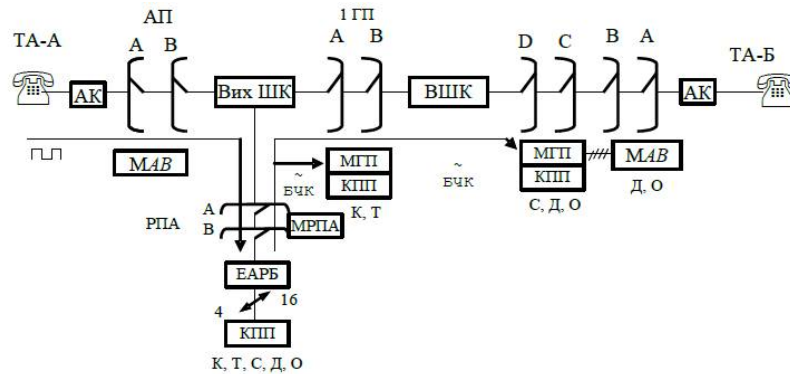


Рис. 9 – Внутрішньостанційний з'єднувальний тракт АТСК-У

До ВихШК, який було зайнято, маркер РПА вмикає вільний реєстр ЕАРБ (МРПА визначає номер ВихШК, здійснює обумовлений пошук проміжної лінії, віднаходить вільний реєстр та вмикає БКЗ каскаду РПА). Утримуючі електромагніти БКЗ РПА отримують струм із схеми реєстра.

Після вмикання реєстру із його схеми подається в абонентську лінію сигнал «Відповідь станції» (безперервний сигнал частотою 425 Гц).

Абонент набирає номер, котрий приймається реєстром. Передавання здійснюється декадними шлейфними імпульсами (ДКШ). Реєстр обчислює кількість імпульсів у кожній серії й запам'ятовує всі цифри набраного абонентом А номера абонента Б.

З прийняттям останньої цифри ЕАРБ займає МГП шляхом вмикання «+» до проводу *d*. Маркер ГП визначає номер входу, якого було зайнято, і вмикає до нього кодовий приймач та передавач (КПП).

Маркер ГП через КПП видає керувальний сигнал «видати першу цифру багаточастотним кодом» у бік реєстру. Реєстр видає цифру **К** (коду) маркеріві ГП багаточастотним кодом за допомогою КПП. Маркер ГП визначає, що йому не вистачає однієї цифри, тому в бік ЕАРБ надсилає керувальний сигнал «видати наступну цифру БЧК». ЕАРБ видає цифру **Т** (тисяч). Маркер ГП, прийнявши цифру тисяч, фіксує напрямок до тисячної групи абонентів.

Потім обумовленим пошуком МГП віднаходить ПЛ та ВШК у зафіксованому напрямку, вмикає електромагніти каскадів *A* і *B* у каскаді ГП й МГП звільнюється. Утримання електромагнітів здійснюється зі схеми ЕАРБ.

Далі зайняття передається від ЕАРБ через ГП до ВШК, а потім до блока *CD*. В *MCD* визначається номер входу, на якому відбулося зайняття й, як і у каскаді ГП, до входу вмикається КПП. Маркер блока *CD* видає керувальний сигнал «видати наступну цифру БЧК» й реєстр видає цифру **С** (сотень). З прийняттям цифри сотень *MCD* знову видає керувальний сигнал «видати наступну цифру БЧК» – й реєстр видає цифру десятків, а *MCD* приймає її. В такий самий спосіб *MCD* приймає цифру одиниць номера абонента Б.

Використовуючи цифру сотень, *MCD* з'єднується з маркером блока *AB* відповідної сотенної групи і передає йому цифри десятків та одиниць у

багатопровідний спосіб. Маркер блока *AB* фіксує номер АК абонента Б. Далі здійснюючи обумовлений пошук, *MCD* та *MAV* віднаходять проміжні лінії поміж каскадами *D* та *C*, *C* та *B*, *B* та *A*. Вмикаються точки комутації на каскадах *A*, *B* й *C*, а на каскаді *D* спрацьовує лише електромагніт обиравання, чим вмикається до АК спеціальний пробний пристрій абонентської лінії (ПАЛ), розміщений у *MCD*. ПАЛ розрізняє три можливих стани АК: 1 – АЛ є вільна; 2 – АЛ зайнято місцевим зв'язком; 3 – АЛ недоступна (зайнята міжміським зв'язком).

Якщо лінія є вільна, то *MCD* передає до ЕАРБ керувальний сигнал «абонентська лінія є вільна». Вмикається електромагніт утримування на каскаді *D*. ЕАРБ, *MCD*, *MAV* звільнюються. Утримування електромагнітів у каскадах АП та ГП здійснюється зі схем ВихШК та ВШК.

Зі схеми ВШК у бік абонентської лінії абонента Б надсилається сигнал виклику частотою 25 Гц та напругою 100 В. У бік абонентської лінії абонента А надсилається сигнал «Контроль надсилення виклику» частотою 425 Гц. Сигнали НВ та КНВ мають часові параметри: 1 с сигнал та 4 с пауза. Після відповіді абонента Б НВ та КНВ зупиняються і в ВШК встановлюється розмовний тракт. Електроживлення й контроль стану ТА-А здійснюється із схеми ВихШК та ТА-Б – із ВШК.

Якщо першим здійснює відбій абонент А, то порушується з'єднання до ВШК й зі схеми ВШК абонент Б отримує сигнал «Зайнято» частотою 425 Гц з періодичністю 0,3 с. Після здійснення відбою абонентом Б, з'єднання порушується повністю шляхом зняття «+» з кіл електромагнітів утримування.

Якщо першим здійснює відбій абонент Б, то з'єднання порушується на ГП й *DCBA*, а із ВихШК абонент А отримує сигнал «Зайнято». З'єднання порушується повністю після відбою абонента А.

### Вихідне з'єднання до АТС з безпосереднім способом керування

До початку приймання номера процес встановлення з'єднання є подібний до внутрішньостанційного (рис. 10).

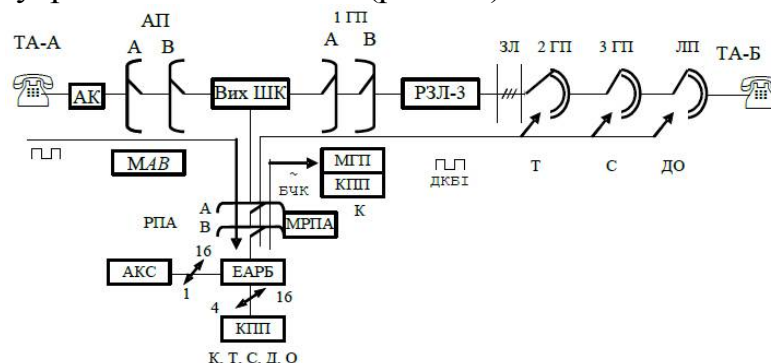


Рис. 10 – З'єднувальний тракт АТСК-У –АТСДК

З прийняттям першої цифри номера (код станції) реєстр передає її для аналізу до аналізатора коду станції (АКС). Якщо АКС внаслідок аналізу визначає, що це є код АТСДК, то він передає сигнал реєстру для початку встановлення з'єднання.

Регістр займає вхід до 1 ГП й *МГП*, останній визначає номер входу, що його було зайнято, вмикає до нього КПП, видає до регістру керувальний сигнал «видати першу цифру БЧК». Регістр видає цифру **К**, яка приймається *МГП*. Однієї цифри є достатньо, *МГП* встановлює з'єднання в напрямку до АТСДК, займаючи вільний РЗЛ-3. Увімкнувши точки комутації, *МГП* надсилає регістрові керувальний сигнал «видати наступну та решту цифр батареїним кодом». Отримавши такий сигнал, регістр переходить на видавання цифр батареїним кодом, а маркер ГП звільнюється.

З прийняттям кожної цифри регістр видає її в бік АТСДК батареїним кодом. При цьому цифра тисяч надходить до 2 ГП, цифра сотень – 3 ГП, цифри десятків та одиниць – до ЛП. По закінченні видавання всіх цифр регістр звільнюється.

У каскадах 2 та 3 ГП за цифрами здійснюється вимушений пошук напрямку до відповідних груп, а за міжсерійний час – вільний пошук лінії в цьому напрямку. У каскаді ЛП (лінійного пошуку) здійснюється пошук АЛ-Б за цифрами десятків та одиниць.

Пробу стану абонентської лінії здійснює керувальний комплект лінійного шукача.

Надсилання виклику та КНВ провадиться зі схеми керувального комплекту лінійного шукача.

Електроживлення та контроль стану ТА-А здійснюється з ВихШК, а ТА-Б – із ЛП.

Якщо першим здійснює відбій абонент А, то тракт порушується до ЛП і абонент Б отримує сигнал «Зайнято» зі схеми ЛП.

Якщо першим здійснює відбій абонент Б, то тракт порушується до ВихШК, з якого абонент А отримує сигнал «Зайнято».

Тракт повністю порушується після відбою другого абонента.

## Л.4. Цифрові АТС

### 1. Основи цифрової комутації каналів.

**Комутацією** називають процес встановлення з'єднання між визначеними входом і виходом системи, підтримки його на час передачі інформації користувача і подальшого роз'єднання.

Комутаційна станція може бути як **аналоговою**, так і **цифровою**. Комутаційна станція називається цифровою, коли її комутаційне поле може комутувати тільки цифрові сигнали, що несуть як мову, так і керуючу інформацію. Аналогові сигнали також можуть комутуватися цифровою станцією, але лише з використанням аналогово-цифрових (АЦП) і цифроаналогових (ЦАП) перетворювачів.

Еволюцію від аналогової комутації до цифрової демонструє рис. 1. На рис. 1а показані аналогові АТС з аналоговими абонентськими та з'єднувальними лініями, на рис.1.б – цифрові АТС з використанням як цифрових АЛ і ЗЛ, так і аналогових АЛ і ЗЛ (з АЦП і ЦАП перетворювачами).

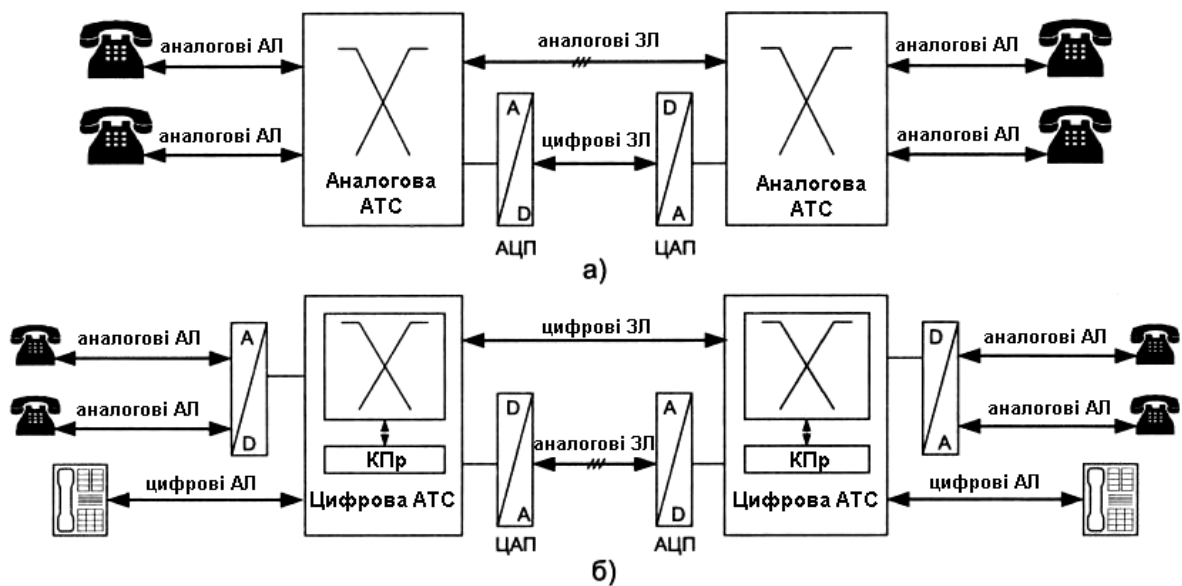


Рис. 1. Еволюція АТС.

У випадку **цифрової комутації каналів** спочатку створюється наскрізне з'єднання між входом і виходом системи, а потім цим з'єднанням в реальному масштабі часу здійснюється обмін інформацією користувачів. Операції з цифровими сигналами, які переносять цю інформацію, полягають в записі і зчитуванні, тому фізичного з'єднання входу з виходом не існує. Надлишкове навантаження від викликів, які поступають при зайнятості всіх з'єднувальних шляхів, як правило, втрачається. Обмін в реальному часі визначає основну область використання комутації каналів – **передачу мови**. Недоліком систем з цим видом комутації є відносно низька ефективність використання каналів.

## 2. Цифрові системи комутації

На телефонних мережах комутацію здійснюють *комутаційні станції* і *вузли*, які можуть бути як автономними позасистемними, так і утвореними на обладнанні *цифрової системи комутації (ЦСК)*. Сучасні мережі розвиваються майже виключно на ЦСК.

Під *цифровою системою комутації* розуміють єдиний територіально розподілений комплекс апаратно-програмних засобів, який складається з основного *опорного обладнання (ОпО)*, яке виконує функції комутації і управління і централізує функції технічної експлуатації і обслуговування системи, і з *виносних комутаційних (ВКМ)* і *абонентських модулів (ВАМ)*, з'єднаних з ОпО і, можливо, один з одним цифровими внутрішньо системними *з'єднувальними лініями (ЗЛ)*.

Під ВКМ розуміють автономну частину обладнання ЦСК, здатну незалежно функціонувати на мережі як окрема станція і лише в процедурах технічної експлуатації керовану від ОпО, а під ВАМ – винесену від ОпО або ВКМ частину обладнання системи, яка повністю управляється від ОпО або ВКМ і забезпечує підключення *абонентських ліній* (це може бути абонентський *концентратор*, абонентський *мультиплексор* або інше абонентське обладнання).

Спрощена блок-схема цифрової АТС (ЦСК) містить:

1. Модулі абонентських ліній
2. Комутаційне поле
3. Модулі з'єднувальних ліній
4. Систему керування

При комутації каналів основні системні ресурси ЦСК витрачаються на встановлення і лише незначна їх частина – на підтримку з'єднань.

В ЦСК різних типів ЦКП можуть комутувати цифрові потоки з різними швидкостями і структурами циклу передачі, і способами модуляції. Найбільш поширеним варіантом є ЦКП, розраховані на стандартні первинні 32-канальні групові тракти ІКМ із швидкістю 2048 кбіт/с і 8-розрядними кодовими словами. В деяких ЦСК комутуються 32-канальні тракти, отримані із стандартних первинних шляхом додавання до кожного кодового слова додаткових восьми службових бітів, що подвоює швидкість передачі (до 4096 кбіт/с).

Сучасна ЦСК характеризується:

- ємністю від 100 до 500 тисяч номерів;
- наявністю достатньої номенклатури типів і ємностей ВАМ і повноцінних, з можливостями транзитних з'єднань і замикання, внутрішніх викликів ВКМ;
- широкою номенклатурою абонентських і лінійних стиків і способів сигнального обміну, зокрема наявністю спільноканальної сигналізації СКС-7;
- централізованою технічною експлуатацією і можливістю взаємодії з мережею керування електрозв'язком *TMN (Telecommunication Management Network)* і можливостями взаємодії з моніторинг-центрами;



- можливостями широкосмугової пакетної комутації і взаємодії з пакетними мережами *IP*, асинхронного режиму переносу інформації *ATM (Asynchronous Transfer Mode)*, транслювання кадрів *FR (Frame Relay)*, *Ethernet*; і комутацію за вимогою напівпостійних каналів *B, H0, H1* (відповідно 64, 384 і 1920 кбіт/с);
- достатньою номенклатурою послуг, включно з мультисервісними послугами і послугами інтелектуальної мережі *IN (Intellectual Network)*.

ЦСК може одночасно функціонувати як:

- опорна станція (ОПС) чи опорно-транзитна станція (ОПТС);
- автоматична міжміська телефонна станція (АМТС);
- міжнародний центр комутації (МЦК);
- вузол спецслужб (ВСС) чи інтелектуальний центр обробки викликів (*Call-center*);
- центр комутації стільникової мережі рухомого зв'язку *MSC (Mobile Switching Center)*;
- пункт наявності *Internet IPOP (Internet Point Presence)*;
- шлюз з пакетними мережами *IP, ATM, FR, Ethernet*;
- пункт комутації

### 3. Абонентський модуль (АМ) і його функції.

Абонентські лінії в ЦСК включаються в комутаційне поле через абонентські блоки (АБ), які можуть розташовуватися на території самої станції або на відстані від неї (рисунок 6.3).

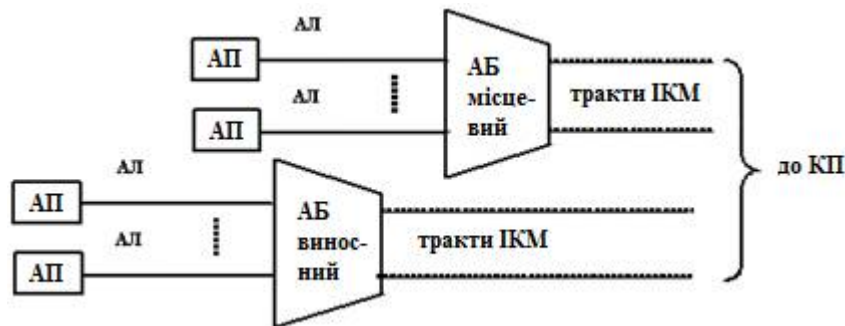


Рис.2. Підключення АБ до КП

Абонентські блоки, розташовані на відстані від ЦСК, називаються виносними АБ. Винос АБ від опорної ЦСК дозволяє будувати більш гнучку мережу, скорочує протяжність АЛ і зменшує витрати на управління і обслуговування. Виносні АБ зв'язуються з КП по первинних цифрових трактах 2 Мбіт/с.

Абонентський блок виконує наступні основні функції:

- аналого-цифрове перетворення АЦП і цифро-аналогове перетворення ЦАП в разі підключення аналогових АЛ;
- реалізація функцій BORSCHT, які виконуються в АК аналогових ліній;
- підключення АЛ до первинного цифрового тракту, що йде в КП ЦСК;
- мультиплексування або концентрація навантаження.



Абонентський модуль (АМ) призначений для узгодження кінцевих пристроїв з ЦСК. АМ виконує 7 функцій.

В (battery feed) - електроживлення абонентського терміналу;

О (over voltage) - захист від перенапруг на АЛ;

Р (ringing) – посилка виклику;

S (supervision, signaling) - спостереження і сигналізація;

С (coding) – кодування аналогового сигналу;

Н (hybrid) - диференціальна система;

Т (testing) - тестування.

На Рис.3 показана структурна схема АМ з урахуванням функцій BORSCHT.

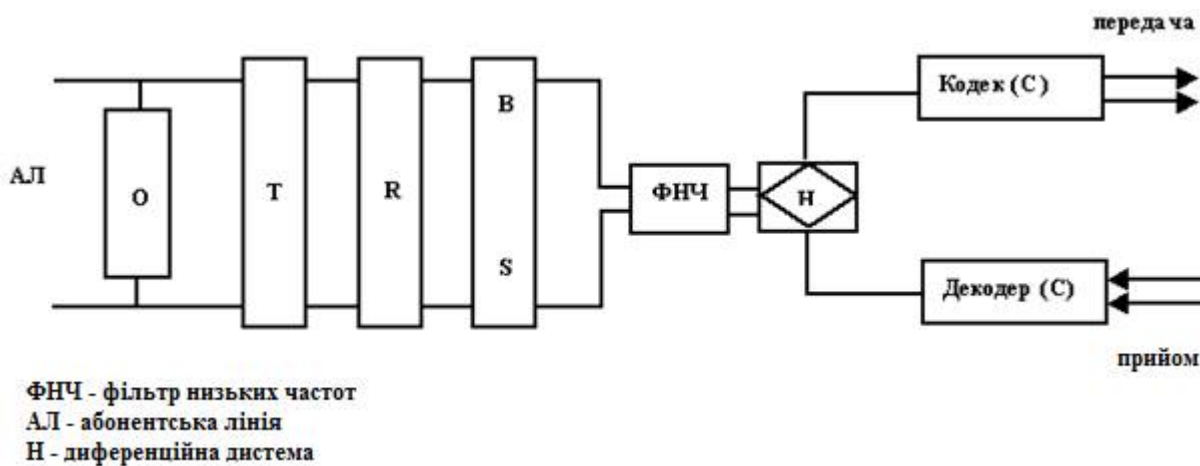


Рис.3. Структурна схема АМ з урахуванням функцій BORSCHT

Функція В. Струм живлення абонентського телефонного апарату (ТА) в ЦСК подається з АМ. Напряга живлення 48В (імпортні станції) або -60В. Переважна кількість абонентських ліній має довжину менше 8 км, для віддалених абонентів використовуються додаткові джерела живлення.

Функція О. Забезпечує захист ліній окремих елементів ЦСК і кінцевих пристроїв, як від разових випадкових впливів (наприклад, удар блискавки), так і від постійних впливів індуктивного характеру з боку високовольтних ліній.

Функція Р. У аналогових ТА для спрацьовування дзвінка використовується подача високої змінної напруги >90В і частотою 25 Гц. Таким чином, виконується одна з функцій абонентської сигналізації – виклик абонента за допомогою сигналу ПВ.

Функція S. Забезпечує контроль за станом абонентської лінії з метою виявлення виклику від абонента, відповіді, відбою, адресної інформації декадним кодом. Для аналогової лінії ці сигнали є замиканням і розмиканням ланцюга постійного струму.

Функція С. Забезпечує перехід від аналогових сигналів до цифрових. Найбільш поширеним способом є імпульсно-кодова модуляція ІКМ.

Функція Н (функції дифсистеми). Забезпечує поділ ланцюгів передачі і прийому при переході від двохпровідної АЛ до чотирьохпровідного тракту ІКМ.

Функція Т. Забезпечує встановлення причини і місця несправності. Проводиться за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури (КВА), яка підключається до АЛ, наприклад, герконове реле. Можливі основні перевірки:

- опір ізоляції проводів а й b щодо землі або між проводами а й b;
- ємність між проводами а й b;
- зміна постійного і змінного напруги на проводах а й b;
- перевірка на коротке замикання.

### 3.1. Цифровий абонентський доступ

Для підключення цифрових абонентів до ЦСК передбачаються цифрові АК, розташовані в абонентському блоці. На відміну від аналогового АК, цифровий не виконує багато функцій BORSCHT, так як вони переносяться в цифровий ТА.

Для абонентів мережі ISDN організовується цифровий абонентський доступ – сукупність апаратних засобів, що забезпечують взаємодію між цифровими абонентськими терміналами та ЦСК. Можливі два варіанти доступу:

1) базовий доступ (BRA - Basic Rate Access) зі швидкістю  $2B+D = 144$  кбіт/с, але фактично швидкість 192 кбіт/с, так як передається додаткова інформація по синхронізації і управління мережею;

2) первинний доступ (PRA – Primary Rate Access) використовується для систем з підвищеним навантаженням зі швидкістю  $30B+D$  (локально-обчислювальні мережі, УВАТС).

Функціональна схема організації доступу абонентів ISDN до ЦСК складається з функціональних блоків розміщуються у абонентів і на ЦСК. Фізичні пристрої, що утворюють інтерфейс між лінією і користувачем, розташовуються в безпосередній близькості від терміналів і називаються мережевими закінченнями (NT- Network Termination). Модуль цифрових АЛ на ЦСК реалізується у вигляді лінійного закінчення LT і станційного закінчення ET. Доступ  $2B+D$  дозволяє впровадити нові послуги на існуючій абонентській мережі. Його реалізація стала причиною для створення цілого спектра телекомунікаційних засобів отримали назву xDSL, де x означає різну реалізацію, а DSL (Digital Subscriber Line) – цифрову абонентську лінію. У таблиці наводяться дані про можливі варіанти реалізації xDSL.

Таблиця 1 - Характеристики обладнання xDSL

Назва	Функції	Швидкість	Примітка
DSL	Цифрова абонентська лінія	160 кбіт/с	ЦСІО: мова і дані, доступ в Інтернет
HDSL	Високошвидкісна (high) цифрова абонентська лінія	2048 кбіт/с	Доступ в Інтернет, локальні і крупномасштабні мережі
SDSL	HDSL по простій парі	2048 кбіт/с	Аналогічно HDSL
ADSL	Асиметрична (asymmetric) цифрова абонентська лінія	1,5- 7 Мбіт/с	Доступ в Інтернет, відео за запитом, мультимедіа
VDSL	Надшвидкісна цифрова (very high) абонентська лінія	13-52 Мбіт/с	ADSL плюс високоякісне телебачення (HDTV)

# ПРИНЦИПИ СИНХРОННОЇ ЦИФРОВОЇ КОМУТАЦІЇ.

## 1.1. Координати комутації.

Для комутації вводиться поняття ознак.

$S$  – ознака простору

$T$  – ознака часу

$F$  – частотна ознака

$\lambda$ - хвильова ознака

Існують поняття *однокоординатної* і *багатокоординатної* комутації сигналів.

*Однокоординатною* називається комутація, при якій всі з'єднувальні шляхи в системі відокремлені один від одного за однією розділювальною ознакою, де під розділювальною ознакою розуміють параметр, за яким у системі проходить розділення з'єднувальних шляхів між входом і виходом. Наприклад, в аналогових системах найбільше поширення отримала однокоординатна комутація з просторовою ознакою розділення каналів.

Передача сигналів по лінії без перехресного впливу одного каналу на інший вимагає, щоб окремі канали не перетиналися. Розміри перерізу (смуги) каналу по кожній координаті не повинні бути більшими динамічного діапазону зміни цього параметра.

### *Наприклад:*

1. Передача сигналів по індивідуальних фізичних лініях. В цьому випадку розділювальною ознакою буде *просторова* ознака  $S$ . Кожна індивідуальна з'єднувальна лінія характеризується своїм параметром – умовним номером цієї лінії –  $i$ . Векторна діаграма сигналів, що передаються по індивідуальних фізичних лініях, зображена на рис.1.а. Однокоординатна комутація в цьому випадку означає перетворення, наприклад,  $A_1$  в  $A_i$  (тобто передачу сигналу із першої лінії в  $i$ -ту).

2. Лінія з частотним поділом каналів. В цьому випадку для представлення необхідно мати дві ознаки: *просторову*  $S$  і *частотну*  $F$ . Просторовий параметр  $S$  вказує умовний номер лінії з частотним розділенням каналів.

Частотні параметри  $F_i (i=0, 1, \dots, k)$  означають центри смуг пропускання кожного із  $n$  каналів, що передаються по лінії  $S$ . На рис. 1.б. наведено векторне представлення каналів лінії з ЧРК, при цьому запис  $F_1^k$  означає  $k$ -й канал лінії 1.

Наявність двох ознак ( $S$  і  $F$ ) дозволяє говорити про **двохкоординатну** комутацію сигналів, що передаються по каналах лінії з ЧРК. Наприклад, сигнал  $i$ -го каналу можна перевести із лінії  $S_1$  в той же канал лінії  $S_2$  чи із одного каналу перевести сигнал в другий канал тієї ж лінії, чи і те і друге разом.

3. Лінія з часовим розділенням каналів (ЧасРК). Сигнали в такій лінії можна представити в координатах ознак  $S$  (**простір**) і  $T$  (**час**). Координатами каналного інтервалу будуть умовний номер лінії з ЧасРК  $S$  і номер каналного інтервалу  $k$  ( $k=0, 1, 2, \dots, n$ ) в структурі циклу (рис. 1.в). Тут  $T_1^k$  – вектор сигналу, що передається по лінії  $S_1$  протягом каналного інтервалу  $k$ .

Можлива комутація сигналів по ознаках, кількість яких більше двох, наприклад в оптичній комутації (рис.1.г.).

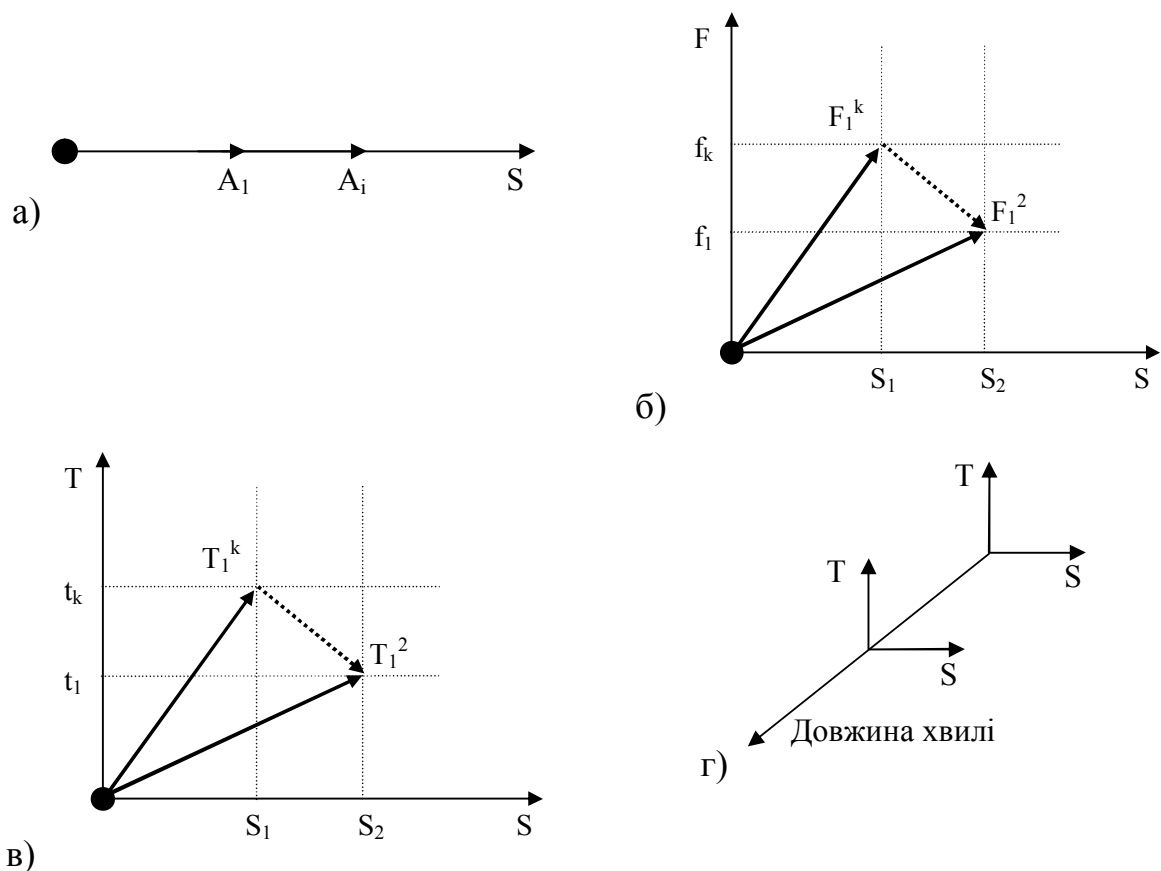


Рис. 1. Векторне представлення сигналів і їх комутації.

У 60-х роках були спроби створити комутаційні пристрої, що здійснюють комутацію за двома ознаками  $S$  і  $F$ , але вони так і не були створені.

**Синхронна цифрова комутація** ІКМ сигналів є двохкоординатною комутацією за ознаками  $S$  (*простір*) і  $T$  (*час*) а використовувані комутаційні пристрої ІКМ сигналів, мають, в зв'язку з цим наступні особливості:

- відносяться до класу **синхронних**, тобто всі процеси на входах, виходах і всередині їх узгоджені по частоті і по часу.
- є **чотирьохпроводними** в силу особливостей передачі сигналів по ЦСП.

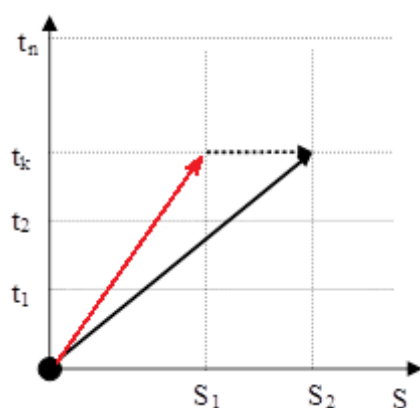
У комутаційних полях цифрових АТС можуть використовуватися:

- просторова комутація
- часова комутація
- комутація виду «простір-час»
- комутація виду «час-простір»
- комутація виду «простір-час-простір»
- комутація виду «час-простір-час»
- інші складніші комбінації просторової та часової комутації

## 1.2. Каскад просторової комутації

Просторова комутація була основою при побудові АТС першого покоління (1ESS, 2ESS, 3ESS, «Кварц», МТ-20, «Исток»).

Блок або модуль, що здійснює функцію просторової комутації цифрового сигналу (перетворення просторової координати) називається просторовим каскадом або  $S$ -каскадом. Зміст перетворення просторової координати цифрових сигналів полягає у тому, щоб перемістити кодове слово з однієї



ІКМ-лінії у іншу зі збереженням порядку слідування кодового слова у структурах циклів обох ліній.

Рис. 2. Векторне представлення просторової комутації.

**Блок просторової комутації** часових каналів (**БПК**) виконує перенесення кодового слова певного КІ в однойменний КІ інших ЦЛ.

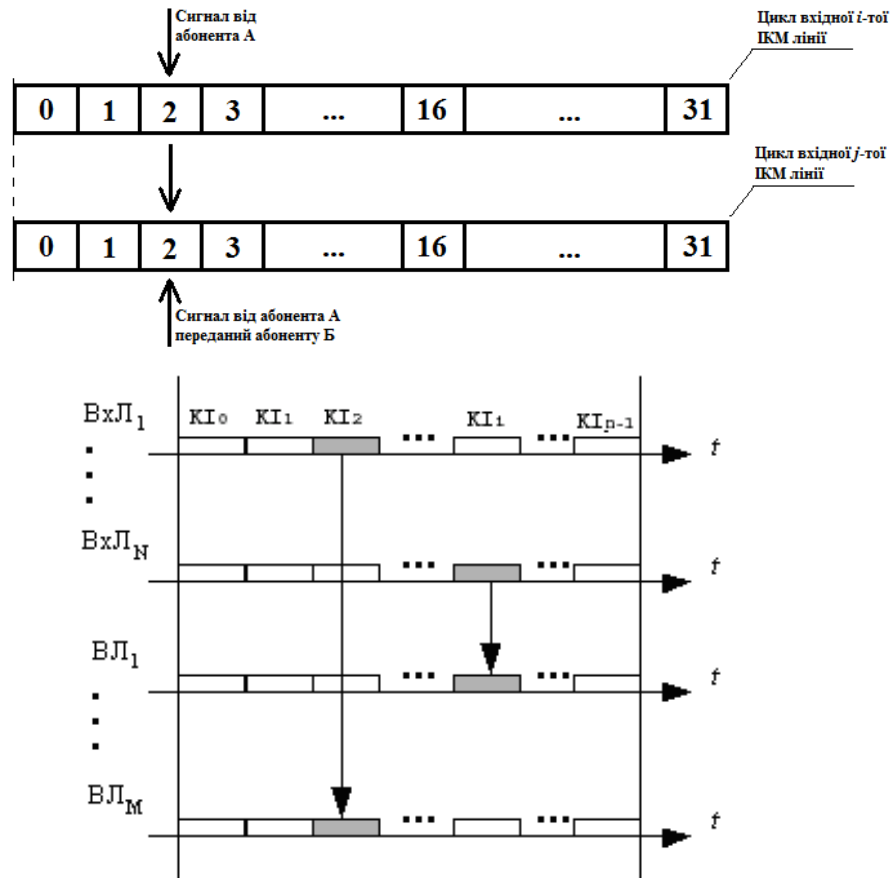


Рис. 3. Процес просторової комутації.

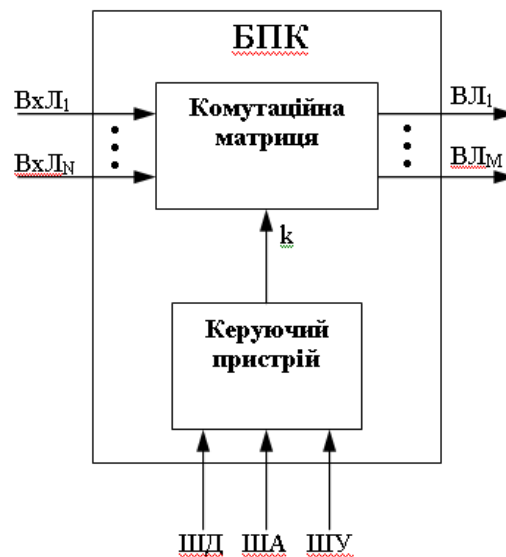


Рис. 4 Блок просторової комутації.

Шини даних (ШД), шини адреси (ША) і шини управління (ШУ)

В загальному випадку БПК складається з *управляючого пристрою* і *комутаційної матриці*, в горизонталь якої включені входні (ВхЛ), а у

вертикаль - вихідні ЦЛ (ВЛ) (рис.4). Процес просторової комутації ілюструє векторна діаграма (рис. 2) і часова діаграма (рис. 3).

Комутаційна матриця є комбінаційним автоматом з  $N$  інформаційними входами,  $M$  інформаційними виходами і  $N \times M$  точками комутації, керованими від управляючих входів  $k$ , причому кількість останніх визначається типом елементів, на яких побудована комутаційна матриця (рис.4).

Управляючою інформацією для БПК є адреси ВхЛ і ВЛ, які повинні бути зкомутовані в заданому КІ. Ці адреси повинні бути занесені в управляючий пристрій БПК (УП) і зберігається в ньому до закінчення з'єднання, тому УП будується на запам'ятовуючих елементах і називається адресним запам'ятовуючим пристроєм (АЗП) або керуючою пам'яттю (КП).

Незалежно від способу реалізації комутаційної матриці з'єднання між вхідними і вихідними ЦЛ повинні встановлюватися на тривалість каналного інтервалу, тому на відповідну точку комутації управляючий сигнал потрібно подавати протягом заданого КІ. Звідси випливає, що адреса точки комутації повинна бути записана в ту комірку АЗП, яка читається в цьому КІ. Кількість елементів пам'яті АЗП повинна співпадати з числом каналів  $n$  в комутуваних цифрових трактах. Розмір комірки визначається способом реалізації комутаційної матриці і числом точок комутації.

Як *приклад*, розглянемо принцип роботи БПК на 16 цифрових ліній, побудованих на схемах І (логічне множення) Є 16 входів (ВхЛ) та 16 виходів (ВЛ). До кожної лінії додається АЗП. Число комірок АЗП відповідає кількості часових каналів. Для управління точками комутації у комірках АЗП, номери яких відповідають номеру каналу, записується адреса елемента І, який відповідає вихідній лінії. Завдання:

1. З'єднання 12 входу і 6 виходу по 8 каналу.
2. З'єднання 6 входу з 12 виходом по 11 каналу.

1. Для з'єднання 12 входу і 6 виходу по 8 каналу необхідно відкрити ключ на перехресті вертикалі 12 і горизонталі 6. Для цього у АЗП 12 у двійковому коді записується адреса елемента І під номером 6 (0110).

При зчитуванні адрес комірок АЗП у потрібний часовий інтервал 8 з комірки АЗП 12 зчитується номер комірки 6 і ключ відкривається, що створить можливість передачі інформації в цей каналний інтервал.

2. Для з'єднання 6 входу і 12 виходу по 11 каналу необхідно відкрити ключ на перехресті вертикалі 6 і горизонталі 12. Для цього у АЗП 6 у двійковому коді записується адреса елемента І під номером 12 (1100).

При зчитуванні адрес комірок АЗП у потрібний часовий інтервал 11 з комірки АЗП 6 зчитується номер комірки 12 і ключ відкривається, що створить можливість передачі інформації в цей каналний інтервал.

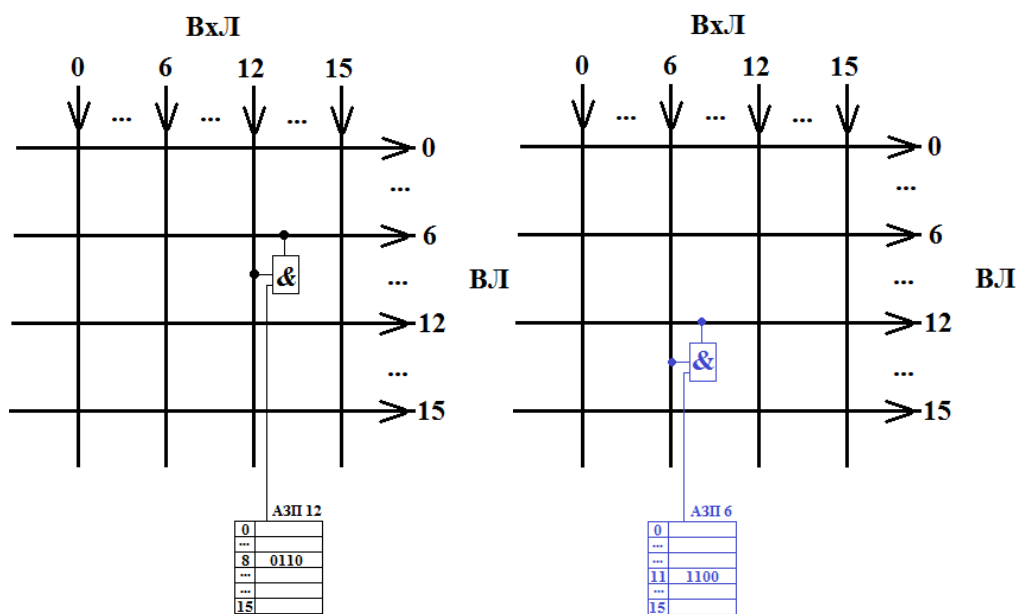


Рис.5. Приклад роботи просторової комутаційної матриці

Для прискорення комутації і, отже, пропускну здатності ЦКП застосовують паралельну (одночасну) передачу всіх  $r$  розрядів кодового слова. Відповідно швидкість передачі зростає в  $r$  раз. Реалізація паралельної передачі вимагає додаткового обладнання: послідовно-паралельних перетворювачів кодових слів на виході кожної ВхЛ і паралельно-послідовних – на вході кожної ВЛ.

Неможливість з'єднувати різнойменні канали означає наявність в БПК внутрішніх блокувань. Тому для побудови цифрових комутаційних полів БПК використовують тільки в поєднанні з іншими типами блоків.



### 1.3. Каскад часової комутації

Часова комутація полягає в передачі кодових слів будь-якого КІ вхідної ЦЛ в будь-який КІ вихідної ЦЛ, тому **блок часової комутації (БЧК)** під керівництвом АЗП повинен здійснювати перенесення (зсув) кодового слова з одного КІ в іншій. В загальному, часовий комутатор можна розглядати як систему пам'яті, яка позначає для певних часових інтервалів певні комірки пам'яті, тому часовий комутатор називають ще пам'яттю міжінтервального обміну. Цей процес пояснює векторна діаграма комутації (рис. 6) і часова діаграма (рис.7) на прикладі комутації КІ<sub>і</sub> вхідної ЦЛ з КІ<sub>і</sub> вихідної ЦЛ і КІ<sub>і</sub> ВхЛ з КІ<sub>і</sub> ВЛ.

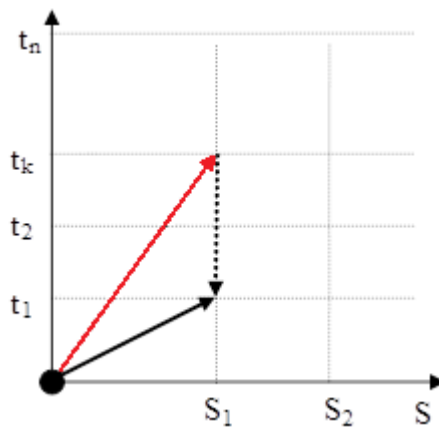


Рис. 6. Векторне представлення часової комутації.

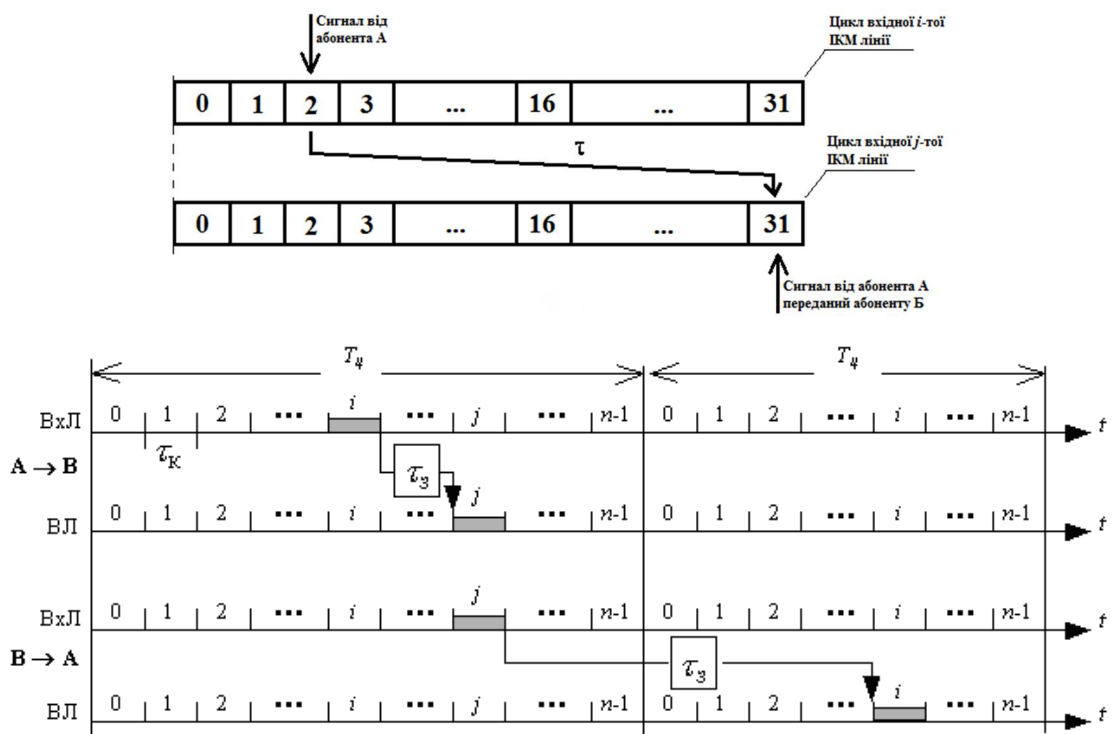


Рис. 7. Процес часової комутації.

Як видно з рисунка, для цього необхідна затримка інформації каналного інтервалу на якийсь час, який визначається співвідношенням номерів КІ  $i$  та  $j$ , але не може перевищувати тривалості циклу передачі  $T_u$ , оскільки в останньому випадку інформація в комутованому КІ вхідної лінії змінилася б наступним кодовим словом. Для комутації КІ $_i$  ВхЛ з КІ $_j$  ВЛ затримка становить  $\tau_{zi-j} = (j-i)t_{KI}$  за умови  $j > i$ , де  $t_{KI}$  – тривалість КІ. Якщо ж  $i > j$ , то затримка становить  $\tau_{zi-j} = (n + j-i) t_{KI}$ , де  $n$  – кількість каналних інтервалів в циклі.

$T$ -комутатори можуть бути реалізовані 2-ми способами:

1. За допомогою ліній затримок (недолік: послідовна передача кодових слів).
2. За допомогою запам'ятовуючих пристроїв ЗП.

Схеми з використанням ліній затримки мають суттєвий недолік – послідовну передачу кодових слів. Для організації паралельної передачі необхідно збільшення кількості схем у число раз, що відповідає розрядності кодового слова. Тому сьогодні  $T$ -комутатори реалізуються лише за допомогою ЗП через простоту і низьку вартість реалізації.



Рис. 8. Загальна схема реалізації  $T$ -каскаду

У загальному виді  $T$ -комутатори містять 2 ЗП: мовний і керуючий, рис 8. Мовний призначений для запису/зчитування кодових слів, керуючий – містить адреси запису/зчитування для комірок мовного ЗП. Ці адреси записуються у керуючий ЗП з керуючого пристрою системи комутації.

$T$ -каскади можуть працювати у 2-х режимах: а) послідовний запис/довільне зчитування; б) довільний запис/послідовне зчитування. У

режимі послідовний запис/довільне зчитування проводиться послідовний запис кодових слів у мовний ЗП за сигналами спеціально організованого лічильника номерів комірок і довільне зчитування з мовного ЗП за адресами, що отримані або з керуючого ЗП або з керуючого пристрою. Інформація з кожного вхідного часового інтервалу запам'ятовується у послідовних комірках пам'яті, що забезпечується збільшенням на одиницю лічильника на кожному часовому інтервалі.

Наприклад, необхідно передати інформацію з **канального інтервалу 2** в **каналний інтервал 3** у режимі послідовний запис/довільне зчитування.

За синхронізуючим сигналом станції, що співпадає з початком каналного інтервалу  $0$ , лічильник мовного ЗП обнуляється. За допомогою послідовного збільшення значення лічильника, що формує адресу мовного ЗП, кодовані відліки всіх каналів циклу записуються в цей ЗП. Таким чином реалізуючи режим послідовного запису в мовному ЗП, Рис. 9.

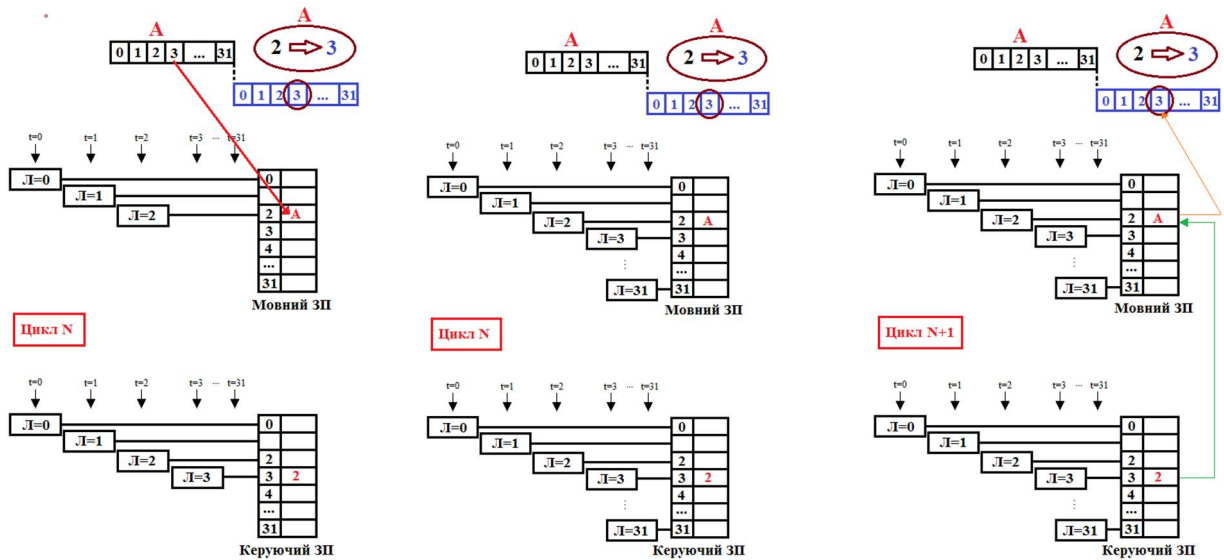


Рис. 9. Робота  $T$ -каскаду. Послідовний запис/довільне зчитування.

У цей самий час (в тому ж циклі) у 3-му каналному інтервалі відбувається запис у керуючий пристрій номеру каналного інтервалу, з якого необхідно зчитати дані.

У наступному циклі  $N+1$  відбувається довільне зчитування. Знову організовується лічильник адрес КП. Подані адреси записуються в КП центральним управляючим пристроєм АТС і визначають адресу зчитування

для мовного ЗП. Для розглянутого прикладу При  $L=3$  буде зчитана адреса 2, сигнал зчитування буде поданий за адресою 2 в мовний ЗП. Інформація з каналу 2 попадає у каналний інтервал 3.

Структурно  $T$ -комутатор характеризується ємністю  $T:N \times M, K$ . Де  $N$  – число вхідних часових каналних інтервалів в ІКМ лінії;  $M$  – число каналних інтервалів вихідної ІКМ лінії;  $K$  – число біт в одному кодовому слові. Коли  $K$  відоме, то записують  $T: N \times M$ .

Кількість каналних інтервалів, що можуть бути зкомутовані  $T$ -каскадом розраховуються за виразом:

$$N = \frac{PT_{\text{ц}}}{At_{\text{ц}}}$$

Де  $T_{\text{ц}}$  – час циклу ІКМ лінії (мкс);  $P$  – число біт, що паралельно записується/зчитується в ЗП;  $t_{\text{ц}}$  – час циклу ЗП (мкс);  $A$  – число, що характеризує організацію доступу до мовного ЗП.

Як впливає з виразу, ємність  $T$ -каскаду можна збільшити трьома способами:

1. Паралельною обробкою кодового слова каналного інтервала ( $P=8$  для стандартного ІКМ перетворення, хоча є випадки, коли величина кодового слова збільшується).
2. Скорочення часу циклу ЗП
3. Зменшення значення параметра  $A$ .

Використання паралельної обробки кодових слів може збільшити у  $K$  разів ємність  $T$ -каскаду.

Якщо використовувати надшвидкісні ЗП, для яких  $t_{\text{ц}} = 1$  нс, то можна отримати більш ніж 62000 каналних інтервалів, що відповідає станціями середньої і великої ємності. Але вони надто дорогі. Зазвичай використовують  $T$ -каскади ємністю 128x128, 512x512 або 1024x1024.

Параметр  $A$  враховує збільшення швидкодії ЗП за рахунок зміни організації доступу до нього у порівнянні зі схемою, представленою на рис. 8. ЗП спільний для всіх каналних інтервалів і використовується і для зчитування

і для запису. Для такого режиму  $A=4$ . Для зменшення значення величини  $A$  застосовують режим роздільного запису та зчитування, для якого використовуються 2 ЗП. Для такого режиму  $A=2$ . Швидкодія такого режиму обмежується лише швидкістю запису, т.я. необхідні три сигнали: вхідні мовні кодові сигнали, послідовна адреса запису та сигнал дозволу запису. Для зчитування необхідні два сигнали: вхідні мовні кодові сигнали та адреса комутації. Таким чином можна в 2 рази збільшити ємність  $T$ -каскаду за рахунок подвоєння ємності ЗП.

Існує ще один режим роботи – повільний запис/швидке зчитування, що використовує уже 3 ЗП та дозволяє збільшити швидкодію ЗП.

Недоліком БЧК є здатність комутувати канали тільки однієї ЦЛ. Відповідно для обслуговування  $N$  ВхЛ і  $N$  ВЛ потрібно  $N$  БЧК, але при цьому кожний з них зможе комутувати канали тільки однієї ВхЛ і ВЛ. Тому для забезпечення з'єднань між КІ різних ЦЛ потрібно послідовно з БЧК включити БПК, або ж застосувати блок просторово-часової комутації (БПЧК).

#### 1.4. Каскад просторово-часової комутації.

Блок або модуль (іноді матриця), що реалізує просторово-часове перетворення координат цифрового сигналу називають  $S/T$ -каскадом. Згідно з визначенням, просторово-часова комутація забезпечує перенесення інформації з будь-якого КІ вхідної ЦЛ в будь-який КІ вихідної ЦЛ.

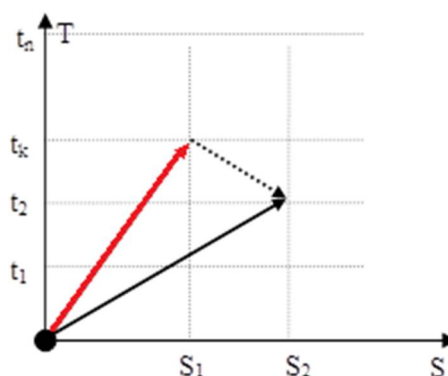


Рис. 10. Векторне представлення просторово-часової комутації.

Процес перенесення відображає рис. 11, а на рис. 12 приведена узагальнена структурна схема БПЧК, його просторовий еквівалент.

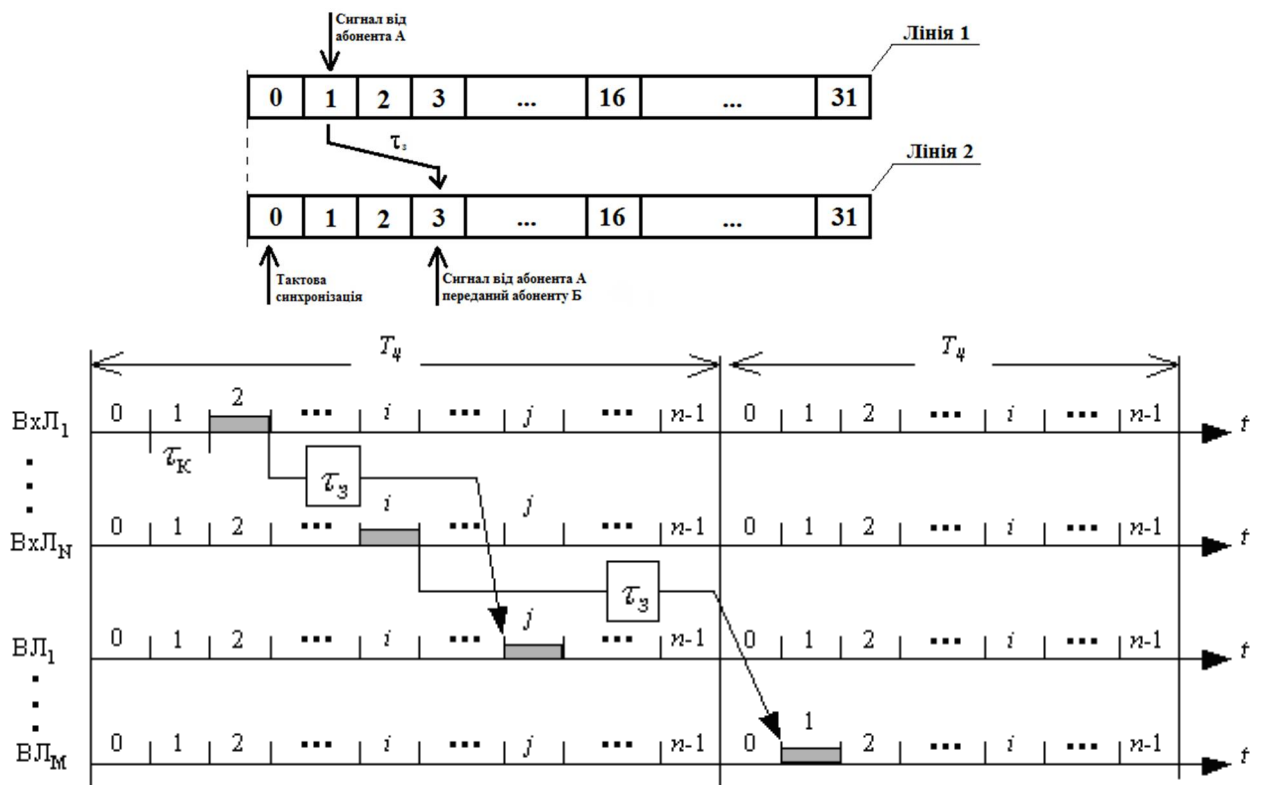


Рис. 11. Процес просторово-часової комутації.

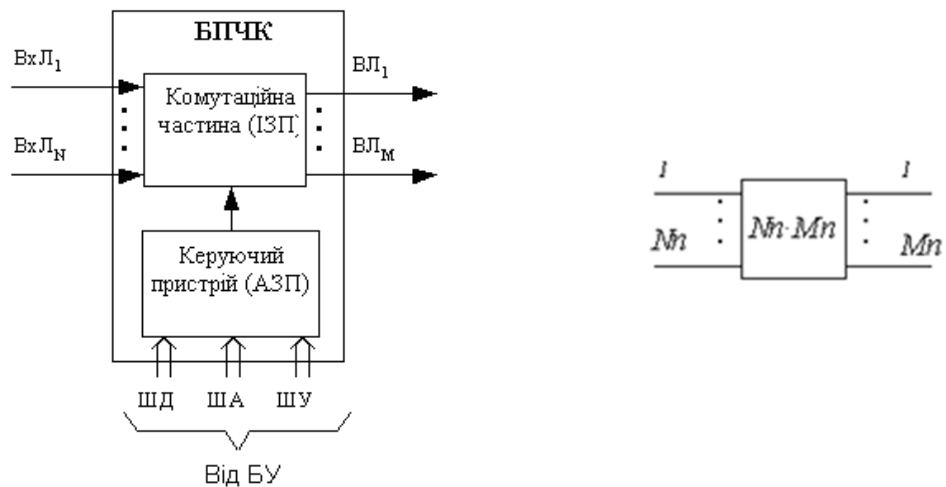


Рис. 12. Блок просторово-часової комутації та його просторовий еквівалент

В загальному випадку в БПЧК підключені  $N$  ВхЛ і  $M$  ВЛ, тому в кожному з  $n$  КІ інформація з  $N$  вхідних ЦЛ повинна бути передана у всі  $M$  вихідних ЦЛ, що потребує прискорення комутації в  $M$  раз порівняно з швидкістю запису кодових слів з ВхЛ в ІЗП для комутатора типу „час”. Для управління зчитуванням інформації з комірок ІЗП каналний інтервал розділяється на визначене, не менше, ніж  $M$ , число вторинних інтервалів.

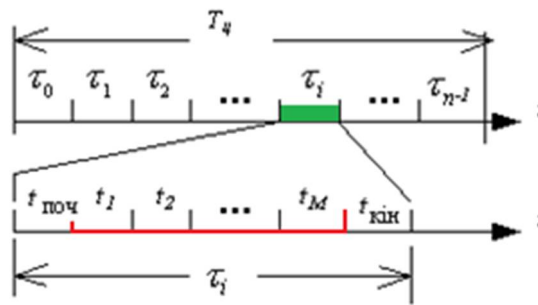


Рис. 13. Структура циклу.

На рис. 13 показана структура циклу передачі у разі вторинного ущільнення часових каналів. Число вторинних каналів зазвичай дорівнює  $M+2$ , оскільки окрім інтервалів, закріплених за вихідними лініями ( $t_1 \dots t_M$ ), потрібні додаткові інтервали початку ( $t_{поч}$ ) і кінця ( $t_{кін}$ ) вторинного циклу. Призначення цих інтервалів таке: початковий  $t_{поч}$  – для запису кодових слів в ІЗП; основні  $t_1 \dots t_M$  – для зчитування їх з елементів пам'яті ІЗП; кінцевий  $t_{кін}$  – для запису кодових слів в регістри вихідних ліній (ВЛ).

Розглянемо принцип дії БПВК на прикладі структурної схеми рис.14.

Число секцій ІЗП дорівнює числу  $N$  вхідних ліній. Кожна ВхЛ має свій регістр запису (РЗ) для послідовно-паралельного перетворення кодових слів (послідовний запис з ВхЛ, паралельне зчитування в ІЗП). Кожна ВЛ має власний буферний регістр (БР) і регістр зчитування (РЗч), який здійснює паралельно-послідовні перетворення кодових слів.

Блок АЗП, який управляє комутацією в БПВК, має  $n \times M$  комірок пам'яті, кожна з яких закріплена за певним  $KI$  певної ВЛ. Адресну інформацію в комірки АЗП записує блок управління КБ в режимі довільного доступу в пам'ять, а зчитування цієї інформації здійснюється в режимі послідовного доступу, тобто циклічно. З'єднання вважається встановленим після запису в потрібну комірку АЗП адреси (номерів) секції ІЗП і її комірки, а також біту дозволу на комутацію.

Кодові слова  $KI$  ВхЛ послідовно записуються у відповідні вхідні регістри РЗ, звідки в інтервалі  $t_{поч}$  наступного  $KI$  паралельно передаються в комірку ІЗП в режимі послідовного доступу в пам'ять. В кожній комірці ІЗП записане кодове слово зберігається протягом циклу передачі  $T_u$ , а потім замінюється

наступним словом цього ж  $KI$ . Момент зчитування з комірки ІЗП визначається двома часовими інтервалами: потрібним каналним  $t_{KI}$  і тим з вторинних  $t_1 \dots t_M$ , який відповідає потрібній ВЛ. Зчитуються кодові слова з комірки ІЗП в БР паралельно і ациклічно, в режимі довільного доступу до них. З буферних регістрів ці слова паралельно передаються в регістри РЗч у вторинному інтервалі  $t_{кон}$ , а потім послідовно, біт за бітом, з РЗч зчитуються в  $KI$  вихідних ліній.

Оскільки передача кодових слів з комірки ІЗП в РЗч відбувається протягом  $KI$ , то має місце зсув каналної інформації у ВЛ щодо ВхЛ на один  $KI$ . Щоб його компенсувати, слід прочитувати кодові слова з ІЗП на один  $KI$  раніше шляхом відповідного закріплення комірок АЗП за каналними інтервалами.

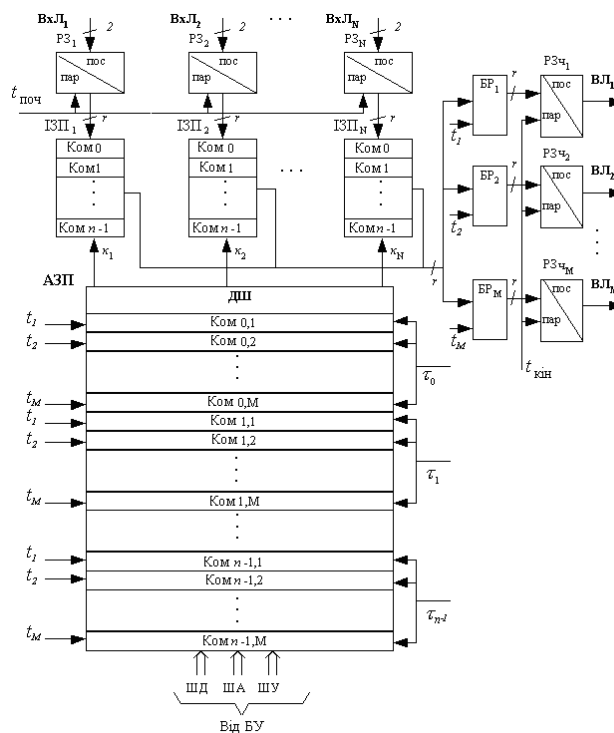


Рис. 14. Функціональна схема блоку просторово-часової комутації.

Розглянемо конкретний приклад. Нехай потрібно зкомутувати  $KI_1$  вхідної лінії  $ВхЛ_3$  в  $KI_2$  вихідної лінії  $ВЛ_M$ . Цю інформацію каналами вводу/виводу одержує БУ, обробляє її, шинами адреси вибирає комірку  $K_{2M}$  АЗП, в яку потрібно занести відповідні номери секції ІЗП (секція 3) і комутованого каналу  $ВхЛ$  ( $KI_1$ ), видає ці номери (адреси) шиною даних і подає



шиною управління сигнал “запис”. Враховуючи затримку на один  $KI$ ,  $K_{2M}$  АЗП опитується сигналами  $t_{KI-1}$  і  $t_M$  і з неї зчитуються адреси “3” секції ІЗП і адреси “1” комірки, в яких міститься кодове слово  $KI_1$  ВхЛ<sub>3</sub>. Зчитані адреси відкривають вихід  $K_1$  3-тньої секції ІЗП, і звідти це кодове слово паралельно записується в БР<sub>М</sub>. Тактовим імпульсом  $t_{КИН}$  воно в кінці  $KI_1$  паралельно передається в РЗч<sub>М</sub> і далі, в  $KI_2$ , послідовно зчитуються у ВЛ<sub>М</sub>.

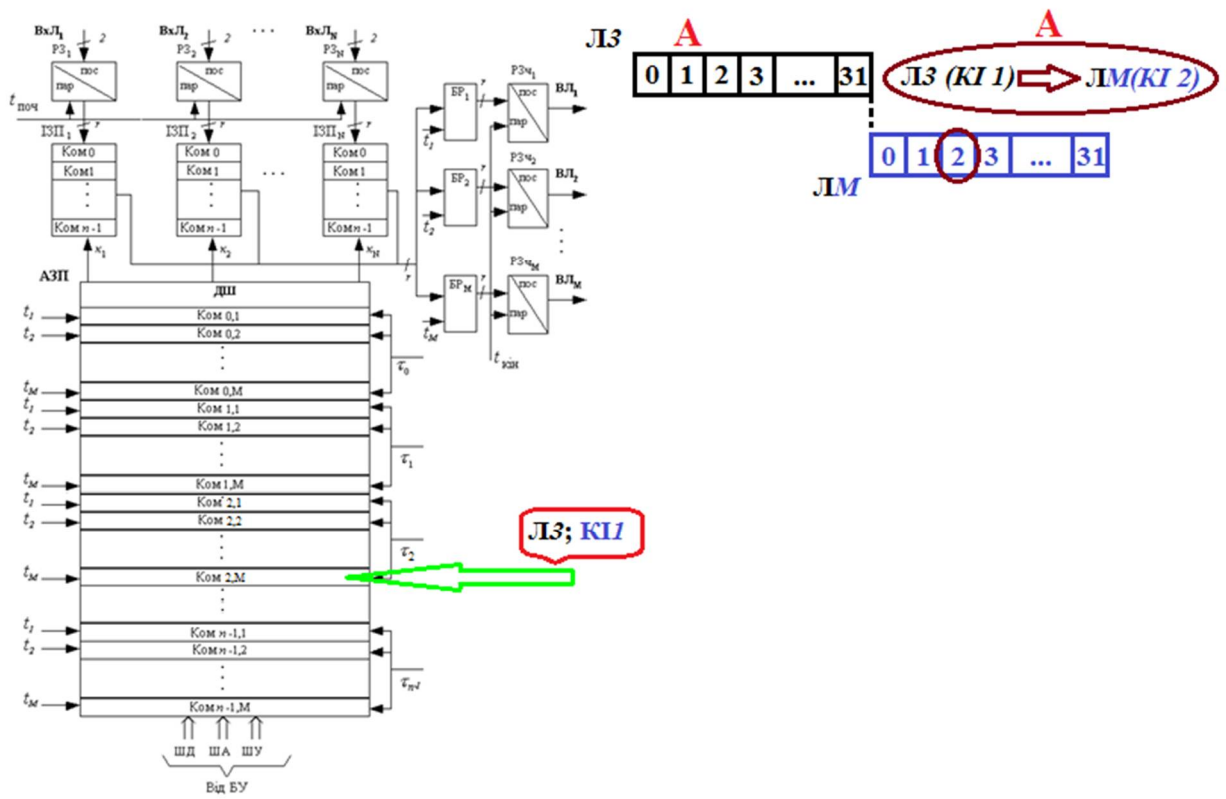


Рис.15. Комутація  $KI_1$  вхідної лінії ВхЛ<sub>3</sub> з  $KI_2$  вихідної лінії ВЛ<sub>М</sub>.

Нарешті відзначимо, що БПЧК в різних цифрових позасистемних АТС і в цифрових системах комутації мають різні параметри  $N$ ,  $M$ ,  $n$  і  $r$  і реалізуються переважно на спеціалізованих НВІС, хоча застосовують і БПЧК, побудовані на мікросхемах середнього ступеня інтеграції (мультиплексорах, регістрах, дешифраторах, оперативних і постійних запам'ятовуючих пристроях). Звичайно окремий БПЧК займає окрему друковану плату, яку при необхідності можна замінити (ТЕЗ – типовий елемент заміни). Для зручності порівняння параметри БПЧК представляємо у вигляді:  $N/nr \times M/nr$ . Такий запис означає, що в БПЧК включено  $N$  вхідних цифрових ліній, кожна на  $n$   $KI$

по  $r$  розрядів, і  $M$  ЦЛ, що виходять, по  $n$   $r$ -розрядних  $KI$  (параметри  $n$  і  $r$  можуть не вказуватися у випадку використання стандартних значень  $n=32$  і  $r=8$ ).

Наприклад:  $32/32_8 \times 32/32_8$  (або просто  $32 \times 32$ );  $64/32_{16} \times 64/32_{16}$ ;

Блок просторово-часової комутації будується на статичних запам'ятовуючих пристроях. Розбиття на групи вхідних і вихідних групових трактів використовується для зменшення вимог до швидкодії елементів пам'яті.

Час доступу до комірок як інформаційної, так і керуючої пам'яті  $T_D$  можна визначити із співвідношення:

$$T_D = \frac{T_u}{2 \times n \times N/g}$$

де  $T_u$  - тривалість циклу передачі системи ІКМ;

$n$  - кількість каналних інтервалів в груповому тракті;

$N$  - загальна кількість групових трактів;

$g$  - кількість груп, на які розбиваємо вх./вих. групові тракти.

Множник 2 в чисельнику означає розбиття часу доступу на два інтервали однакової тривалості для запису і читання інформації відповідно.

### **Практичні завдання за темою лекції:**

1. Які часові канали можна комутувати в просторовому комутаторі?
2. Основний недолік має просторова комутація цифрових каналів?
3. Які логічні елементи можуть використовуватися для реалізації просторових комутаторів цифрових сигналів?
4. Яка розрядність адресного ЗП мультиплексорів просторового комутатора на 16 вхідних і 32 вихідних ІКМ-лінії?
5. Яка інформація записується в комірках адресного ЗП мультиплексорів просторового комутатора?
6. Який основний недолік має часова комутація цифрових каналів?
7. Чи можлива часова комутація каналного інтервалу 29 з каналним інтервалом 17?
8. Яка буде часова затримка при комутації каналного інтервалу 14 КІ з каналним інтервалом 6?
9. Яка буде часова затримка при комутації каналного інтервалу 11 з каналним інтервалом 31?
10. З чого складається часової комутатор?
11. Яка інформація записується в адресній комірці пам'яті часового комутатора?
12. Скільки комірок містить адресна пам'ять часового комутатора на одну цифрову лінію ІКМ-30?

# ЦИФРОВІ КОМУТАЦІЙНІ ПОЛЯ

## 1.1. Принципи побудови цифрових комутаційних полів

У комутаційної техніки прийнято розділяти поняття комутаційної станції і комутаційної системи. Під комутаційною станцією на увазі сукупність технічних засобів зв'язку, що забезпечують комутацію абонентських і сполучних ліній при здійсненні кінцевих і транзитних з'єднань в мережі зв'язку. Залежно від призначення станції бувають місцевими (сільськими), опорними, транзитними, міжміськими, міжнародними.

Комутаційна система відображає принципи внутрішнього побудови комутаційної станції і являє собою сукупність технічних засобів, призначених для здійснення оперативної комутації. Залежно від типу комутаційних приладів та управляючих пристроїв, розрізняють системи: декадно-крокові, координатні, квазіелектронні, електронні та ін. Комутаційна система, що реалізує функцію цифрової комутації, отримала назву цифрової системи комутації (ЦСК).

Надалі будемо розмежовувати поняття цифрової комутаційної системи (при викладі принципів її роботи) і цифрової станції (при описі різних АТС, які можуть бути реалізовані на основі даної комутаційної системи).

У цифровій комутаційній системі функцію комутації здійснює цифрове комутаційне поле (КП). Управління всіма процесами в системі комутації здійснює керуючий комплекс.

Цифрове КП (ЦКП) будується, зазвичай, за ланковим принципом. Ланкою цифрового КП називають групу каскадів ( $S$ ,  $T$  або  $S/T$ ), що реалізують одну й ту саму функцію перетворення координат цифрового сигналу. Залежно від числа ланок розрізняють двох-, трьох- і багатоланкові КП.

Цифрове КП називаються *однорідним*, якщо будь-яке з'єднання в ньому встановлюється через однакову кількість ланок. Більшість сучасних ЦСК мають однорідні цифрові КП.

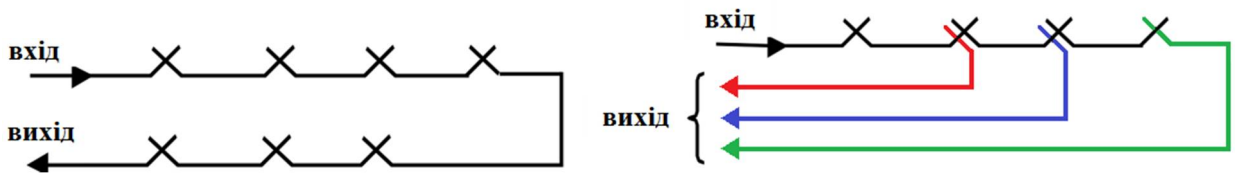


Рис. 1. Однорідне (а) і неоднорідне (б) цифрове КП

Основні особливості побудови багатоланкових цифрових КП.

1. Цифрові КП будуються з використанням певного числа модулів. *Модульність* дозволяє забезпечити легку пристосованість системи до зміни ємності, зручність і простоту експлуатації, технологічність виробництва за рахунок зменшення різнотипності блоків. Додатково, завдяки модульності, спрощується управління системою і програмне забезпечення, що важливо при розробці, при налаштуванні і експлуатації системи.

2. Цифрові КП мають симетричною структурою. Під симетричною розуміють структуру, в якій ланки  $1$  і  $N$ ,  $2$  і  $N-1$ ,  $3$  і  $N-2$  ... є ідентичними за типом і числу блоків комутації. Таке КП виявляється симетричним щодо середньої лінії, що розділяє його на дві частини. Саме симетричні цифрові КП найзручніше будувати на однотипних модулях, тому властивості симетричності і модульності є взаємодоповнюючими.

3. Цифрові КП майже завжди є дубльованими, що пов'язано з критичністю неполадок в комутаційному полі до функціонування всієї системи в цілому. При цьому обидві частини КП (часто їх називають площинами) працюють синхронно і виконують одні й ті ж дії. Але для реальної передачі інформації використовується тільки одна з них, яка вважається активною. Друга частина знаходиться в «гарячому резерві», і в разі неполадок або збоїв в активній частині відбувається автоматичне перемикання. При територіально рознесених цифрових КП здійснюють дублювання кожної територіально рознесеної групи, а між площинами обох груп організовується пряме і перехресне з'єднання, що дозволяє зберегти працездатність системи в цілому при виході з ладу різноіменних площин в різних групах (рис. 3.1).

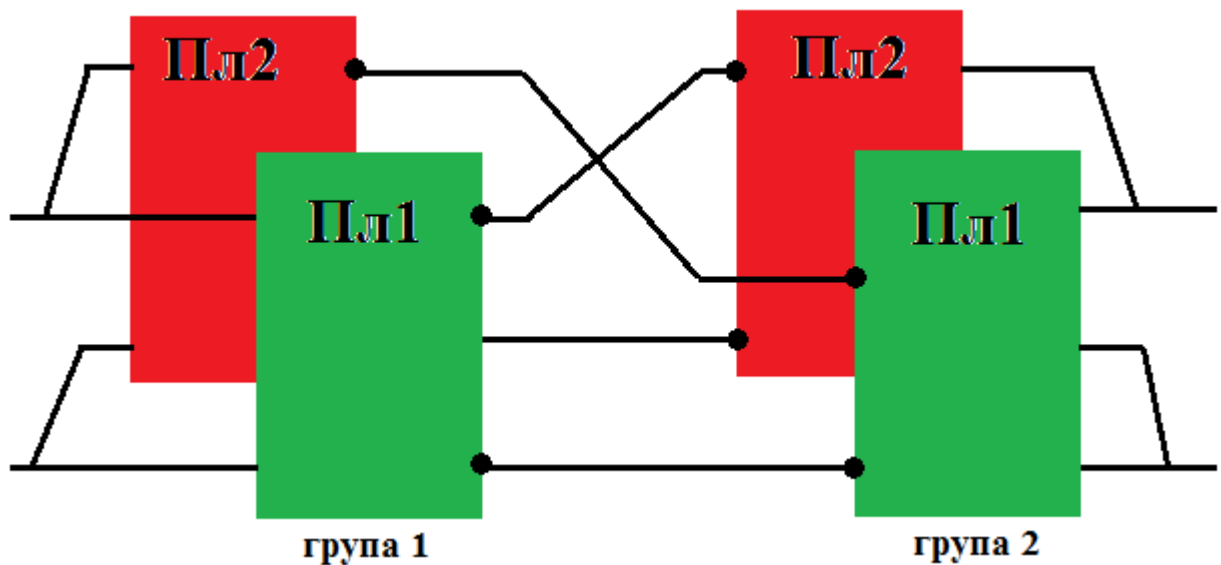


Рис. 2. Дублювання цифрового КП

4. Цифрові КП є чотирипровідними, оскільки цифрові лінії, по яких передаються ущільнені по часу ІКМ сигнали, також чотирипровідні.

В цілому робота ЦСК може бути описана системною функцією  $F$ , яка складається з послідовності операцій  $f_i$  і визначається виразом

$$F = \{f_1, f_n, \dots, f_n\}$$

Реалізація системної функції  $F$  в повному обсязі означає виконання АТС всіх операцій по встановленню з'єднань, контролю, діагностики, оплаті розмов і т.д. На практиці системна функція реалізується по частинах завдяки виконанню підмножини операцій  $\{f_i\}$  (наприклад, внаслідок реалізації операцій по встановленню з'єднання).

У процесі створення система комутації ділиться на окремі функціональні блоки (модулі), при цьому системна функція  $F$  може бути розподілена по цих блоках декількома способами.

1. Концентрація системної функції  $F$  в одному функціональному блоці представляє собою багаторазову реалізацію ( $n$  раз) функції  $F$  в цьому блоці.

2. Якщо АТС складена з  $i$  однакових функціональних блоків, при цьому кожен блок багаторазово реалізує системну функцію  $F$ , то цим здійснюється **деконцентрація** системної функції  $F$  по  $n$  однаковим блокам. При цьому можливі два варіанти дисципліни обслуговування заявок, що надходять на АТС:

а) джерела навантаження випадково розподіляються між функціональними блоками – така дисципліна обслуговування отримала назву розподілу навантаження;

б) джерела навантаження розбиті на групи, і кожна група обслуговується своїм блоком (можливий варіант обслуговування будь-яким вільним функціональним блоком) – така дисципліна називається *поділом джерел навантаження*.

3. Якщо АТС складається з декількох функціональних блоків і при цьому кожен блок реалізує лише частину операцій, що входять в системну функцію  $F$ , то для повної реалізації всієї системної функції необхідна спільна робота всіх блоків. Такий розподіл системної функції носить назву *децентралізації*. Дисципліна обслуговування заявок на АТС при децентралізації називається *розподілом функцій*.

Система комутації каналів в цілому характеризується ступенем виконання в ній чотирьох принципів: концентрації-деконцентрації і централізації-децентралізації (Рис. 3.2).

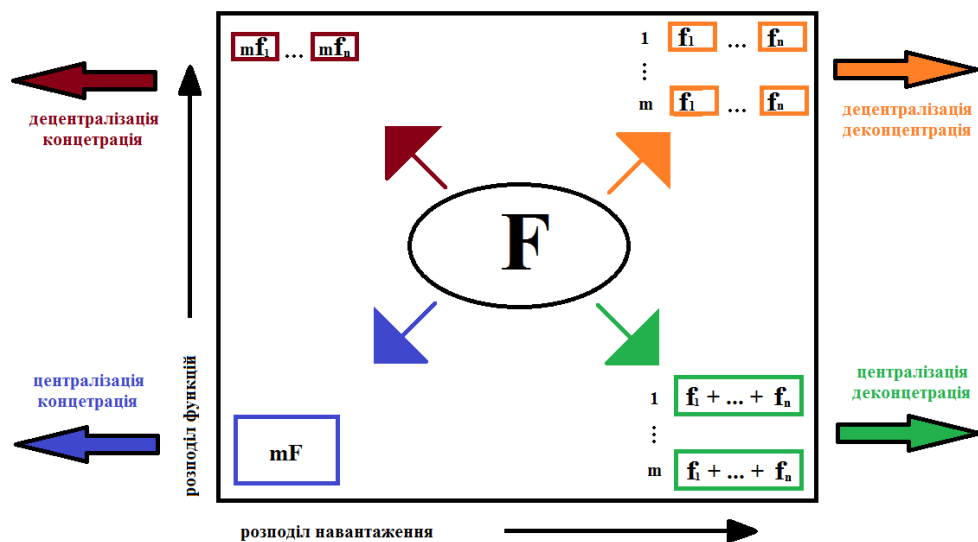


Рис 3. Принцип розподіленості системи

Загальні співвідношення, показані на рис. 2, дозволяють ввести ще одне важливе поняття. Будемо називати систему комутації каналів розподіленою, якщо при її побудові використовувалися глибока децентралізація (розподіл функцій) і деконцентрація (розподіл навантаження).

Традиційно в цифрових комутаційних системах говорять про розподіленості управління і розподіленості комутації, при цьому немає чітких меж ступеня розподіленості (розподілені системи комутації можуть бути побудовані різними способами в залежності від прийнятих проектних рішень).

При розгляді децентралізації системної функції і введенні поняття «розподіл функцій» не розглядалася можливість підпорядкування одних операцій системної функції іншим. Якщо при децентралізації системної функції така залежність існує, то вводиться поняття ієрархії. При цьому зазвичай виділяють два рівня ієрархії: ієрархію операцій і ієрархію функціональних блоків, за якими розподілені операції.

## 1.2. Класифікація цифрових КП

Модульна побудова сучасних цифрових комутаційних систем дозволяє використовувати їх в якості будь-якої станції або вузла зв'язку. У ЦСК виділяють основну, незмінну частину обладнання, додавання до якої додаткового обладнання дозволяє отримати будь-яку станцію мережі зв'язку. Аналогічно, систему комутації ЦСК можна розділити на основне цифрове КП і додаткові комутаційні елементи, які забезпечують концентрацію абонентського навантаження, створення групових трактів або перетворення цифрових потоків.

З урахуванням симетричності і модульності побудови всю множину синхронних цифрових КП з функціональною повнотою комутації можна розділити на п'ять класів. В кожному класі можна виділити базову структуру і підструктури, утворені додаванням допоміжних комутаційних елементів з попереднім мультиплексуванням (MUX) і подальшим демультиплексуванням (DMUX) цифрових групових трактів.

1. Базова структура:  $Sxk - Txr - Sxk$

Підструктура:  $MUX - Sxk - Txr - Sxk - DMUX$ .

Особливістю поля є наявність  $S$ -каскаду в першій і останній ланці, порядок слідування  $T$ - і  $S$ -каскадів всередині поля – довільний з дотриманням правил симетрії.

2. Базова структура:  $Txk - Sxr - Txk$



Підструктура:  $MUX - T_{xk} - S_{xr} - T_{xk} - DMUX$ .

Особливістю поля є наявність  $T$ -каскаду в першій і останній ланці, порядок слідування  $T$ - і  $S$ -каскадів всередині поля – довільний з дотриманням правил симетрії.

3. Базова структура:  $S/T_{xk} - S_{xr} - S/T_{xk}$

Підструктура:  $MUX - S/T_{xk} - S_{xr} - S/T_{xk} - DMUX$

4. Базова структура:  $S/T_{xk}$

Підструктура:  $MUX - S/T_{xk} - DMUX$

5. Кільцеві цифрові комутаційні поля.

Хоча кільцеві КП будуються на  $S/T$ -каскадах (кільцевих з'єднувачах), і, по суті, є різновидом полів 4 класу, але з огляду на їх важливість і особливості побудови прийнято виділяти їх в окремий клас.

Визначення оптимальних форм поєднання часових і просторових каскадів комутації – складна проблема, яка не може бути вирішена окремо від інших завдань, що виникають при побудові цифрових КП: побудова систем управління і групоутворення, вибір способів комутації (паралельний або послідовний), оптимізація співвідношення між часовим і просторовим каскадом комутації та ін.

При побудові ЦСК великої ємності необхідно брати до уваги, що при зменшенні часового каскаду комутації можуть виникнути такі проблеми:

- складність забезпечення заданої якості обслуговування абонентів при перевищенні нормативного навантаження через відсутність вільних часових каналів вихідних ліній,
- узгоджених в часі з відповідними вільними каналами вхідних ліній;
- труднощі забезпечення надходження ІКМ сигналів на елементи комутації  $S$ -каскаду в строго визначені моменти часу, кратні циклу 125 мкс.

Виходячи з цього, а також з урахуванням стрімкого розвитку напівпровідникових БІС, стає вигідним будувати ЦКП з повним часовим і зменшеним просторовим каскадом комутації. При цьому на часову ланку покладаються завдання не тільки по часовому зміщенню комутуваних сигналів, але і по синхронізації, вирівнюванню часу розповсюдження сигналів по лінії зв'язку, а також зменшенню внутрішніх блокувань.

### 1.3. Цифрові КП першого класу

На початкових етапах розвитку цифрових комутаційних систем через високу вартість ЗУ основу ЦКП становили ланки просторового каскаду комутації. Такі АТС як Sintel, DEX-T мали структуру поля типу  $S-S$  при паралельному способі комутації. Однак, просторові комутатори мають велику ймовірність внутрішніх блокувань, тому на практиці набули поширення структури, де просторові каскади комутації розділені часовими каскадами.

Цифрові поля першого класу об'єднують всі симетричні КП, що складаються з  $T$ - і  $S$ -каскадів, де початковий і кінцевими каскадами є  $S$ -каскади. Цифрові КП цього класу реально мають  $k=1,2$  каскадів  $S$  і  $r=1$  каскадів  $T$ , тобто мають структуру  $S-T-S$  або  $S-S-T-S-S$ . Додатковий каскад просторової комутації служить для збільшення пропускної здатності КП, але не впливає на принципи встановлення з'єднань.

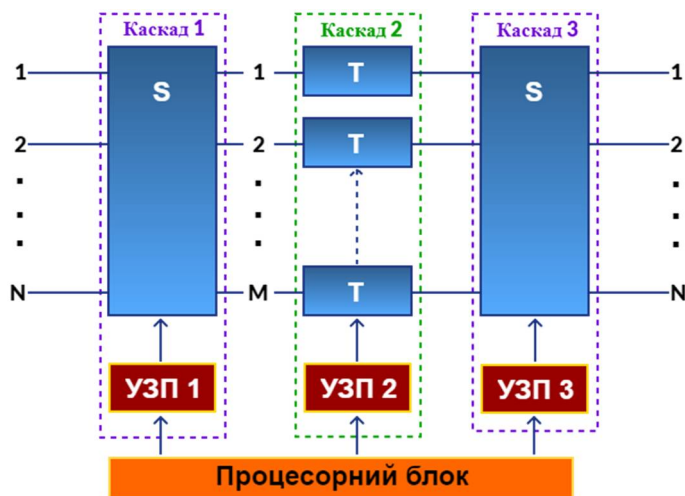


Рис.4. Базова структура цифрового КП 1 класу

Базова структура при  $k=r=1$  дозволяє будувати цифрові КП малої ємності. Графічне зображення такого трьохланкового поля показано на рис. 4. Перший і третій каскади мають по одному просторовому комутатору  $N \times M$  цифрових трактів, а другий каскад містить  $T$ -каскад, що складається з  $M$  часових комутаторів. Ємність цифрового КП визначається параметром  $N$   $S$ -каскаду і кількістю каналів  $n$  в цифровій лінії та розраховується як  $N \times n$ . Так,

при використанні ЦСП ІКМ-30 і просторових комутаторів 16x16 ємність КП складе 512 каналних інтервалів.

Алгоритм роботи такої схеми наступний. Нехай, наприклад, необхідно здійснити комутацію **КІ1 першої вхідної лінії з КІ5 четвертої вихідної лінії** і нехай в КП реалізується алгоритм «довільний запис – послідовне зчитування». Тоді на першому етапі процесорний блок визначає елемент *T*-каскаду, в якому вільна комірка пам'яті, що відповідає КІ5. Нехай таким виявився **другий** елемент. Після цього:

- у відповідне поле УЗП1 заноситься адреса першої вхідної лінії, що співвідноситься з часовим інтервалом КІ1;
- у відповідне поле УЗП2 заноситься адреса другого елемента *T*-каскаду, що відповідає часовому інтервалу КІ5;
- у відповідне полі УЗП3 заноситься адреса четвертої вихідної лінії.

Тоді в КІ1 кодова комбінація з першої вхідної лінії записується в другий елемент *T*-каскаду в комірку пам'яті, відповідну КІ5. У часовий проміжок КІ5 ця кодова комбінація зчитується з пам'яті і надходить на четверту вихідну лінію.

Алгоритм «довільний запис – послідовне зчитування» може призводити до внутрішніх блокувань, оскільки дозволяє використовувати лише комірки пам'яті *T*-каскаду, відповідні однойменному каналному інтервалу. Для реалізації алгоритму «довільний запис – довільне зчитування» необхідно в другому каскаді користуватися два УП, одне для управління записом, інше – для управління зчитуванням.

Каскад просторової комутації може виконуватися на ПЛМ і на мультиплексорах. Максимально велика багатокаскадна *S*-матриця 96x96 використовувалася в System-X (Великобританія). Однак уже на перших етапах реалізації таких КП стали застосовувати не базову структуру, а її підструктуру (рис. 5), оскільки це дозволяє значно збільшити ємність комутаційного поля. Трьохланкові цифрові КП такого виду можуть мати ємність близько 16 тис. каналних інтервалів.

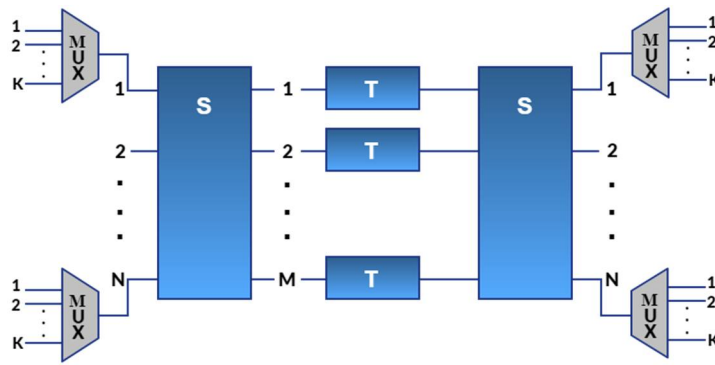


Рис.5. Підструктура цифрового КП 1 класу

Багатокоординатні ЦСК з КП першого класу не знайшли широкого застосування через свою складність і необхідність застосування на вході додаткових елементів пам'яті, що забезпечують функцію вирівнювання часових каналів вхідних ліній зв'язку. Тому виробники були змушені шукати інші способи збільшення ємності цифрових КП.

#### 1.4. Цифрові КП другого класу

Зменшення вартості елементів пам'яті на початку 70-х років дозволило почати впровадження цифрових КП другого класу. Серед синхронних КП цього типу найбільше розповсюдження отримали підструктури із застосуванням попереднього мультиплексування і наступного демультимплексування, оскільки базові структури КП другого класу мали малу ємність. Спрощені структурні схеми базової структури *T-S-T* під структури - *MUX T-S-T-DMUX* показані відповідно на рис. 6 та 7.

Особливості побудови таких КП.

- 1) Застосування додаткових каскадів просторової комутації збільшує ємність і пропускну здатність поля, але не впливають на принципи його функціонування.
- 2) Попереднє мультиплексування (рис. 7) фактично забезпечує вторинне ущільнення вхідних цифрових трактів, а подальше демультимплексування відновлює їх, що призводить до збільшення пропускну здатності цифрового КП без застосування додаткових *S*-каскадів.

3) Для збільшення швидкості обробки даних в КП на вході, як правило, проводиться перетворення послідовно коду в паралельний. Для цього на кожній вхідній лінії встановлюється перетворювач послідовно- паралельного типу, а на вихідній – паралельно-послідовного.

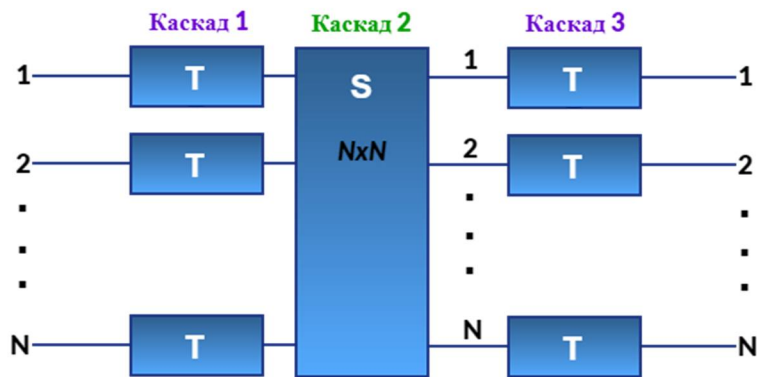


Рис.6. Структури цифрового КП другого класу.

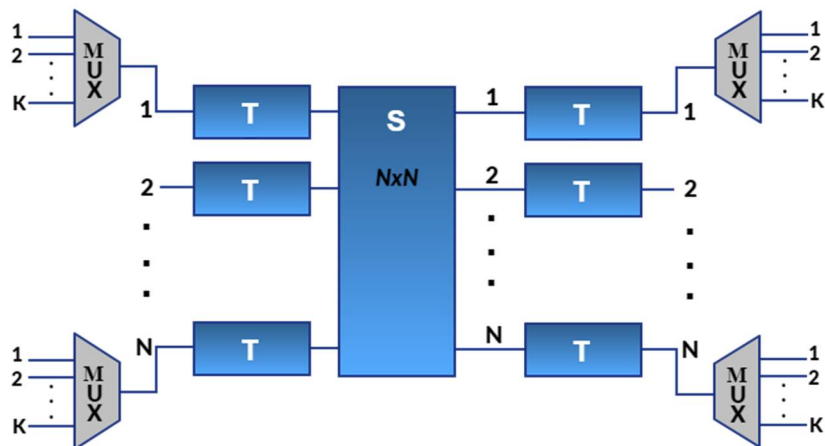


Рис.7. Структури цифрового КП другого класу.

Розглянемо деякі варіанти реалізації цифрових КП другого класу.

### 1. Цифрове поле $MUX-T-DMUX$ ( $r=0$ ).

Цифрові КП такого типу використовувалися при створенні АТС малої ємності і мали найменшу вартість. Максимальне зменшення ємності  $T$ -каскаду було запропоновано японськими фахівцями. У такій схемі  $T$ -каскаду мають параметри  $T$ :  $8 \times 8,8$  і комутують однойменні біти кодових слів всіх восьми вхідних ІКМ ліній. Таке рішення дозволяє мати одне керуюче ЗУ для всіх восьми мовних ЗУ  $T$ -каскаду.

Особливістю цієї схеми є використання двох мультиплексорів – первинного і вторинного, що пов'язано з використанням в якості вхідних і вихідних ліній стан провідні ІКМ ліній.

## 2. Цифрове поле *MUX T-S-T-DMUX* ( $k=r=0$ ).

Переважна кількість трьохланкових цифрових КП другого класу мають комутаційну підструктуру *MUX T-S-T-DMUX*. У такі цифрові КП можна включати понад 60 тис. каналних інтервалів або, при використанні концентраторів, понад 100 тис. абонентських ліній. Ємність такого КП визначається швидкістю цифрових потоків групових трактів (наприклад, числу каналних інтервалів циклу ІКМ лінії) і параметрами *S*-каскаду. Наприклад, при ємності входить *T*-каскаду рівній 512 КІ і просторовому комутаторі 32x32 ємність КП складе 16384 каналних інтервалів.

Якщо простежити розвиток ЦКС з цифровим КП структури *T-S-T* (табл. 1), то можна зробити цікавий висновок: практично всі виробники цифрових АТС (ЦАТС) здійснювали збільшення ємності трьохланкового КП в основному за рахунок збільшення розміру *S*-каскаду. Однак, за певних умов, це призводить до ряду технічних труднощів і підвищенню вартості поля. Тому стає економічно вигідно перейти до структури з більшою кількістю каскадів.

Таблиця 3.1. Порівняльні характеристики ЦАТС

Тип ЦАТС	Розмір <i>T</i> -каскаду	Розмір <i>S</i> -каскаду	Ємність КП (КІ)
КВ 270	1024x1024	4x4	4096
D 70	1024x1024	16x16	16384
D 60	1024x1024	32x32	32768
FETEX 150	1024x1024	64x64	65536
АХЕ 10	512x512	32x32	16384
		64x64	32768
		128x128	65536

### 1.5. Цифрові КП третього класу

Структури цифрових КП третього класу з'явилися в кінці 70-х років завдяки можливості створення відповідних інтегральних схем. Поля цього класу є універсальними, оскільки дозволяють однотипно будувати системи комутації практично для всього діапазону ємностей: малої, середньої і великої. При цьому нарощування ємності відбувається, в основному, за рахунок збільшення кількості каскадів просторової комутації, переходячи від більш простих структур  $S/T-S-S/T$  (рис. 8а) до більш складним  $S/T-S-S-S/T$  (рис. 8б) і  $S/T-S-S-S-S-S/T$  (Рис.8в), оскільки збільшення ємності самого  $S$ -каскаду є більш дорогим рішенням.

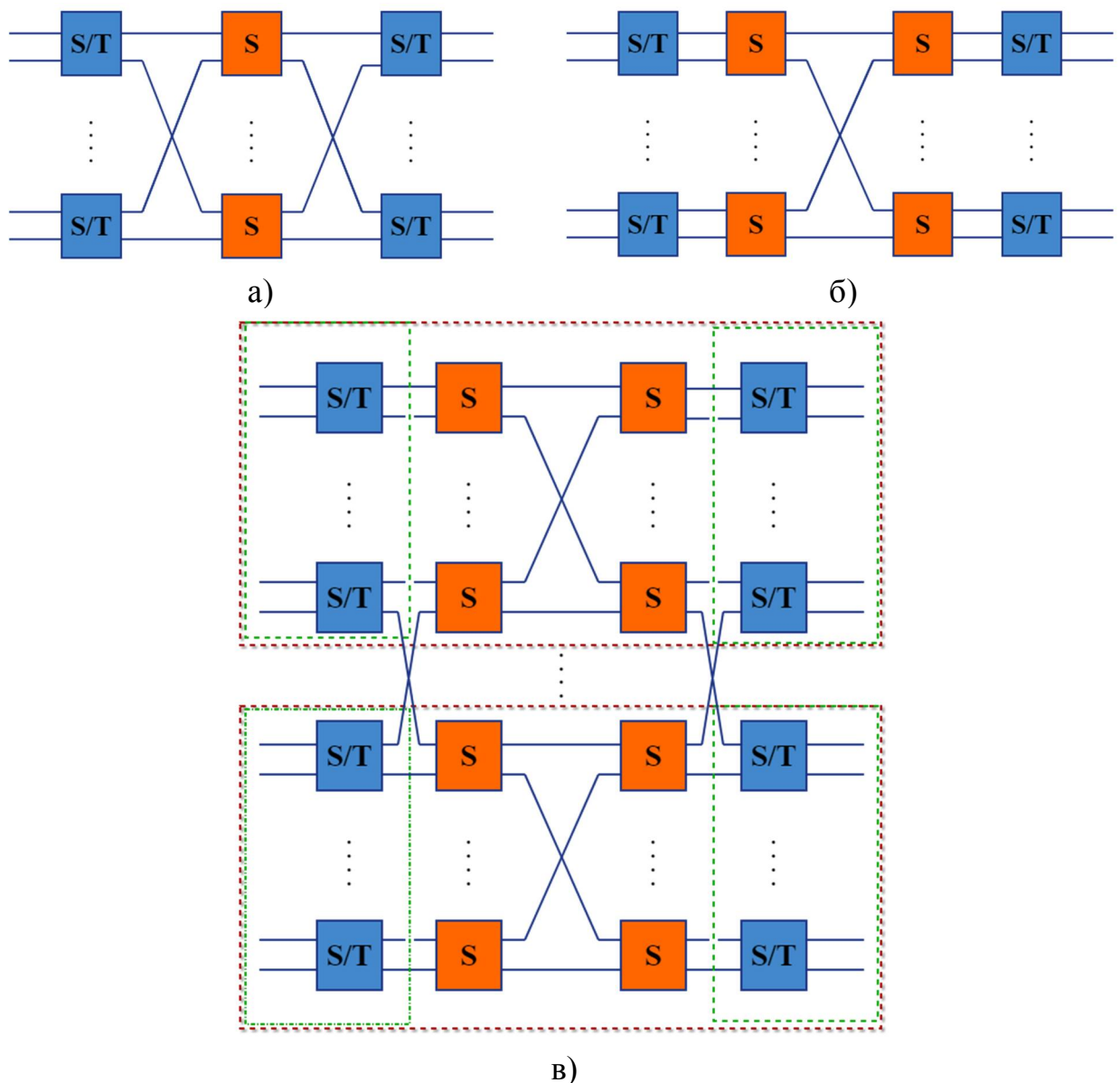


Рис. 8. Структура полів 3 класу: а)  $S/T-S-S/T$ , б)  $S/T-S-S-S/T$ , в)  $S/T-S-S-S-S-S/T$

Часто при проектуванні комутаційного поля каскаду часової і просторової комутації об'єднуються у відповідні блоки: блок часової комутації (БЧК) і блок просторової комутації (БПК). Тоді нарощування ємності КП відбувається шляхом простого додавання визначеної кількості БЧК і БПК (Рис.8в). До цифрових АТС, що використовують КП даного класу, відносяться системи MT20/25 (Франція), System X (DSS) (Великобританія), EWSD (Німеччина), GDT5 EAX (США), DTS-11 (Японія) і ряд інших, на основі яких можна будувати місцеві, міжміські та транзитні станції.

Встановлення з'єднання через комутаційне поле відбувається за схожим алгоритму з КП другого класу. Процес комутації складається з послідовності наступних операцій:

- змінити коду передачі, що полягає в переході від принципу кодування, погодженого з лінійним трактом (наприклад, НОВЗ), до кодування, погодженим з внутрішніми електронними ланцюгами АТС (бінарного);
- послідовно-паралельне перетворення сигналів;
- синхронізація сигналів відповідно до сигналу, отриманого від тактового генератора станції;
- затримка інформації, отриманої по вхідних каналах на час, обумовлений часовим моментом внутрішньостанційної обробки;
- з'єднання виходу вхідного каскаду просторово-часової комутації через просторовий комутатор з входом вихідного каскаду просторово-часової комутації;
- перехід від часового моменту внутрішньостанційної обробки до моменту, відповідного певному КІ вихідного тракту ІКМ;
- перетворення відліків мови з паралельного коду в послідовну форму;
- перехід від принципу кодування, погодженого з внутрішніми ланцюгами АТС до кодування, погодженого з лінійним трактом.

У деяких випадках в системах третього класу для збільшення швидкодії логічних елементів S-каскаду і усунення міжсимвольної інтерференції каскад просторової комутації поділяється на дві частини (матриці), одна з яких



призначена для роботи з циклами парних часових каналних інтервалів, інша – з циклами непарних.

Крім цього, досить часто при створенні КП третього класу організовується безпосереднє з'єднання частини груп вхідних часових комутаторів з групою вихідних, оминаючи каскад просторової комутації, для чого органівуються спеціальні внутрішні сполучні лінії. Це дозволяє використовувати *S*-каскад меншої ємності і, відповідно, вартості. Більш того, при побудові КП малої і середньої ємності (до 16 384 КІ) вдавалося будувати структури, в яких взагалі бу відсутній *S*-каскад. В цьому випадку БЧК з'єднувалися між собою безпосередньо.

Такі рішення мають практично всі великі виробники цифрових АТС. Подібні цифрові КП, в загальному випадку, слід відносити вже до четвертого класу, хоча створювалися вони зазвичай на універсальних схемах середнього ступеня інтеграції (СІС), які використовувалися для комутаційних полів 3-го класу.

Однак, при використанні таких інтегральних схем не вдавалося отримати цифрові КП великої ємності, що складаються тільки з *S/T* -каскадів. Ситуація змінилася зі створенням спеціалізованих БІЗ, що функціонально реалізують *S/T* -каскад досить великої ємності.

## **1.6. Цифрові КП четвертого класу**

В даний час структури четвертого класу цифрових КП знаходять широке застосування завдяки зручності збільшення ємності поля шляхом простого додавання *S/T*-каскадів, виконаних у вигляді універсальних ІМС. Основу *S/T*-каскаду складають комутаційні елементи або модулі. При проектуванні ЦАТС невеликої ємності їх КП може бути побудовано з використанням однієї ланки *S/T*-каскаду, що містить в свою чергу один модуль (ємністю зазвичай від 8/8 до 32/32 вхідних/вихідних ІКМ ліній). Структура такого цифрового КП показана на рис. 9.

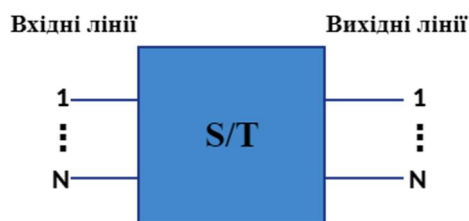


Рис.9. Базова структура КП четвертого класу ( $k = 1$ )

У загальному виді принцип роботи комутаційної схеми при встановленні з'єднання можна пояснити на рис.10.

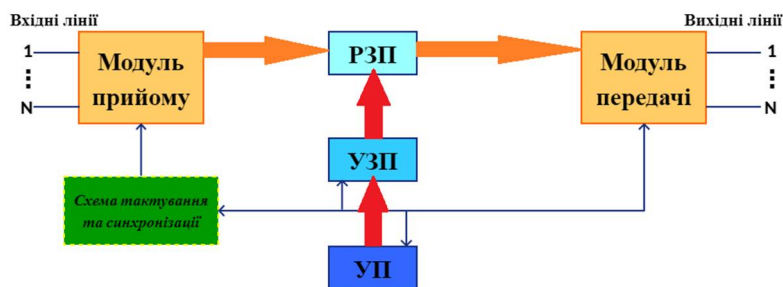


Рис.10. Структурну схему цифрового КП типу  $S/T$ .

Сигнали, що надходять по вхідних ІКМ лініях на вхід комутаційної схеми, перетворюються в модулі прийому до виду, необхідного для передачі по внутрішнім шинам схеми (послідовно-паралельне перетворення коду, розбиття кодових слів і ін.). Перетворений вміст кожного часового інтервалу прийому записується в схеми мовного ЗП  $S/T$ -каскаду в комірку пам'яті, адреса якої вказується модулем управління записом (на схемі не показаний). Як правило, в цифрових КП четвертого класу застосовується метод послідовного запису, тому модуль управління записом є звичайним лічильник. Таким чином, в комірках пам'яті мовного ЗП  $S/T$ -каскаду записується вся інформація, прийнята за один цикл прийому всіма вхідними ІКМ лініями, тобто вміст всіх часових каналів прийому.

У керуючому ЗП для кожного часового інтервалу всіх вихідних ІКМ ліній є своя комірка пам'яті, яка заповнюється інформацією, що надходить з пристрою управління (ПУ) схемою комутації. На підставі команд, отриманих від інших блоків (після аналізу отриманих номерів та абонентів), ПУ визначає комутовані часові інтервали прийому і передачі. Після цього видаються дані, що визначають запис в комірку керуючого ЗП, відповідну необхідному КІ

передачі, номера обраного для комутації з ним КІ прийому (тобто адреси, що вказує на комірку мовного ЗП, в якій записано кодове слово заданої вхідної ІКМ лінії).

Вміст комірок пам'яті керуючого ЗП зчитується по черзі. При цьому зчитування інформації в кожен вихідний ІКМ лінію відбувається в строго певний момент часу, протягом якого вміст керуючого ЗП визначає, інформація якого часового каналу прийому перемикається на даний часовий інтервал передачі.

Кодова послідовність часового інтервалу прийому, зчитана з мовного ЗП, передається на модуль передачі, де перетворюється з послідовної форми в паралельну і розміщується в обраному часовому інтервалі передачі. Цей процес повторюється до тих пір, поки УП не запише в керуючий ЗП дані для встановлення нового з'єднання. Запис і зчитування кодів слів в модуль прийому, мовне ЗУ і модуль передачі рознесені в часі таким чином, що блокувань при записі/зчитуванні не виникає.

Перші цифрові КП четвертого класу створювалися з використанням ІМС середньої ступені інтеграції і містили одну-дві ланки просторово-часової комутації. Труднощі синхронізації і значні величини часу затримки сигналів не дозволяло будувати поля великої ємності шляхом простого нарощування числа  $S/T$ -каскадів. Оскільки процес комутації в багатоланкових цифрових КП передбачає затримки сигналів, які на цифрових станціях можуть бути достатньо значними, то це призводить до необхідності застосування додаткових ехоподавляючих пристроїв і обмеженню числа ланок в їх КП. Затримки при передачі сигналів в цифрових телефонних станціях повинні бути зведені до мінімуму.

## **1.6. Цифрові КП п'ятого класу**

На сьогодні ЦКП 5 класу (кільцеві) не отримали широкого поширення. Свого часу ALCATEL створив станцію, що використовувала такі комутаційні поля.

# СТИКИ ЦИФРОВИХ АТС

## 1. Поняття стику цифрових АТС

Робота цифрових АТС відбувається в оточенні різноманітного телекомунікаційного обладнання: інших АТС (цифрових і аналогових), різних абонентських пристроїв, систем передачі. Спільне функціонування всього обладнання здійснюється завдяки виконанню певних правил. Зокрема, ЦСК повинна забезпечувати інтерфейс (стик) з аналоговими і цифровими абонентськими лініями (АЛ) і системами передачі.

**Стиком** називається межа між двома функціональними блоками, яка задається функціональними характеристиками, загальними характеристиками фізичного з'єднання, характеристиками сигналів і іншими характеристиками в залежності від специфіки.

Стик забезпечує одноразове визначення параметрів з'єднання між двома пристроями. Ці параметри відносяться до типу, кількості і функцій сполучних ланцюгів, а також до типу, формі і послідовності сигналів, які передаються по цих ланцюгах.

Точне визначення типів, кількості, форми і послідовності з'єднань і взаємозв'язку між двома функціональними блоками на стику між ними задається **специфікацією стику**.

Стики цифрової АТС можна розділити на наступні (рис. 1):

- аналоговий абонентський стик;
- цифровий абонентський стик;
- абонентський стик ISDN;
- мережеві (цифрові і аналогові) стики.



Рис.1. Стики цифрових АТС

Іноді в технічній літературі можна зустріти класифікацію стиків, визначених МККТТ (Міжнародний консультативний комітет по телефонії і телеграфії ІТУ-Т) в рекомендаціях Q.501-Q.517. Згідно з цими рекомендаціями аналогові і цифрові з'єднувальні лінії включаються в АТС через мережеві стики типів *A*, *B* і *C*.

Через стик *A* підключаються цифрові тракти, ущільнені апаратурою ІКМ-30 (2048 кбіт/с) або ІКМ-24 (1544 Кбіт/с).

Стик *B* призначений для підключення цифрових трактів, ущільнених апаратурою ІКМ-120 (8448 Кбіт/с).

Аналогові дво- і чотирипровідні лінії включаються в станційне закінчення цифрової АТС через стик  $C$ . Аналого-цифрові перетворювачі для цих ліній входять до складу обладнання цифрової АТС.

Для включення аналогових ліній (абонентських або від відомчих виробничих АТС (УВАТС) в пристрої, що забезпечують доступ до цифрової станції) використовуються стики типу  $Z(Z_1, Z_2, Z_3)$ . Характеристики стиків  $Z$  в значній мірі залежать від національних особливостей мереж.

Для включення цифрових ліній були визначені інтерфейси  $U$  і  $V$ . Стики  $U$  і  $V$ , використовуються для включення АЛ при основному доступ до мереж ISDN (ЦМІО – цифрові мережі інтегрального обслуговування). Основна структура доступу через стик – два канали типу  $B$  (інформаційні канали,  $2 \times 64$  Кбіт/с) і один канал типу  $D$  (канал сигналізації, 16 Кбіт/с). Стик  $V_2$  призначений для включення цифрових підстанцій на швидкості 2048 Кбіт/с. Через стик  $V_3$  включається цифрове обладнання при первинному доступі до інтегральних мереж, наприклад цифрові УАТС. Структура стику:  $30B + D$ . Мультиплексорне обладнання в цифрові АТС включається через стик  $V_4$ . Для мультиплексорів ІКМ, що використовуються при підключенні аналогових виносних підстанцій і аналогових відомчих АТС, був призначений стик  $V_5$ .

В даний час дана класифікація в деякій мірі переглянута і доповнена. Особливо великі зміни торкнулися стику  $V_5$ .

## 2. Аналоговий абонентський стик

При створенні та впровадженні цифрових АТС виникла проблема включення в цифрову АТС аналогової абонентської лінії з аналоговим телефонним апаратом (ТА). Винайдений понад 100 років тому телефонний апарат оптимізований для використання в аналогових телефонних мережах.

*По-перше*, в його складі входив вугільний мікрофон – підсилювач потужності. Практично майже для всіх можливих застосувань (крім телефонних апаратів для туговухих) не потрібно включати в розмовний тракт при внутрішньому зв'язку додаткові підсилювачі.

*По-друге*, всі необхідні зуммерні і викличні сигнали подаються по розмовних ланцюгах безпосередньо з телефонних станцій без перетворення, додаткових ланцюгів при цьому не потрібно.

*По-третє*, аналогові електричні коливання при розмові теж передаються без перетворень (при відсутності апаратури ущільнення) від мікрофона одного абонента до телефону іншого абонента, завдяки чому відпадає необхідність в додаткових схемах на АТС.

*По-четверте*, сам телефонний апарат надзвичайно простий як по електричній схемі, так і конструктивно. Завдяки цьому аналоговий телефонний апарат має високу надійність.

І, нарешті, *по-п'яте*, вартість аналогових телефонних апаратів невелика, так як їх виробництво налагоджено давно і вони випускаються великими серіями різного виконання.

Безумовно, аналоговий телефонний апарат не є ідеальним пристроєм: мікрофон служить джерелом шумів, дисковий номеронабирач частіше інших

елементів ТА виходить з ладу і не відповідає ергономічним вимогам. Точної кількості телефонних апаратів в світі ніхто не знає, але з упевненістю можна сказати, що їх ще багато. При цьому абоненти не поспішають замінювати ці працездатні і прості в експлуатації апарати на більш дорогі цифрові телефонні апарати.

Складні проблеми, що виникали при включенні аналогової абонентської лінії в цифрову АТС, описуються аббревіатурою BORSCHT. При включенні аналогової абонентської лінії в цифрову АТС доводиться вирішувати такі групи проблем організації аналогового абонентського стику:

- узгодження з вигляду переданого мовного сигналу (функція Coding – кодування) і в зв'язку з цим перехід від двохпровідної схеми розмовного тракту до чотирипровідної і навпаки (функція Hybrid – функція дифсистеми);
- узгодження за рівнями сигналів, що передаються: в сторону телефонного апарату надсилаються сигнали високого рівня (функції Battery feed і Ringing), в бік АТС ці сигнали не повинні передаватися (цифрові АТС побудовані на ВІС і НВІС з живленням 5 ... 12 В).
- забезпечення абонентської сигналізації (функція Signalling-сигналізація).

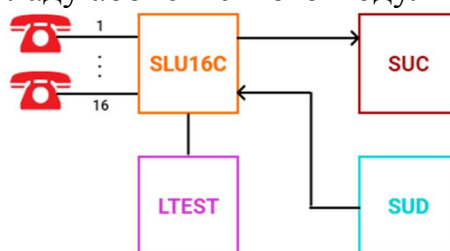
Функції Testing (контроль) і Overvol tage protection (захист від небезпечних напруг) не відносяться прямо до організації стику аналогової абонентської лінії, проте їх реалізація дозволяє автоматизувати процес експлуатації абонентської лінії і телефонного апарату, а також захистити прилади та персонал цифрової АТС від небезпечних напруг.

Основні шляхи еволюції аналогових абонентських стиків розглянемо на кількох конкретних прикладах.

### **Включення аналогових абонентських ліній в систему ЕАТС 200**

В системі ЕАТС 200 абонентські лінії (АЛ) підключаються до блоку стандартних абонентських комплектів SLU16C, який містить ланцюги для 16 абонентських ліній, або до блоку абонентських комплектів з додатковими функціями SLU8C (включаються 8 АЛ). В цілому побудова комплектів SLU16C і SLU8C однакова, проте комплект SLU8C забезпечує ряд додаткових функцій (переполюсовку напруги живлення АЛ для телефонів-автоматів, подачу тарифікаційних посилок в абонентський лічильник і ін.).

Абонентський стик цифрової АТС ЕАТС 200 виконаний на чотирьох платах, що входять до складу абонентського модуля SUB (рис. 2).



**Рис.2.** Включення аналогової АЛ в ЕАТС 200

SLU16C – блок стандартних АК для включення 16 АЛ; SUC – кодер (на 64 АЛ); SUD – декодер (на 64 АЛ); LTEST – пристрій перевірки АЛ

Структурна схема плати SLU16C показана на рис.3. На схемі показані ланцюги однієї АЛ (викличне реле ReA, дифсистема, смуговий фільтр, фільтр високої частоти (ФВЧ), міст живлення, детектор проби), а також ланцюги, загальні для групи з восьми АЛ (міст живлення викличної напруги, тестове реле, демультимплексор, мультиплексор, блок контролю, детектор підняття телефонної трубки). На кожні 16 АЛ є один фільтр згладжування напруги живлення абонентських ліній.

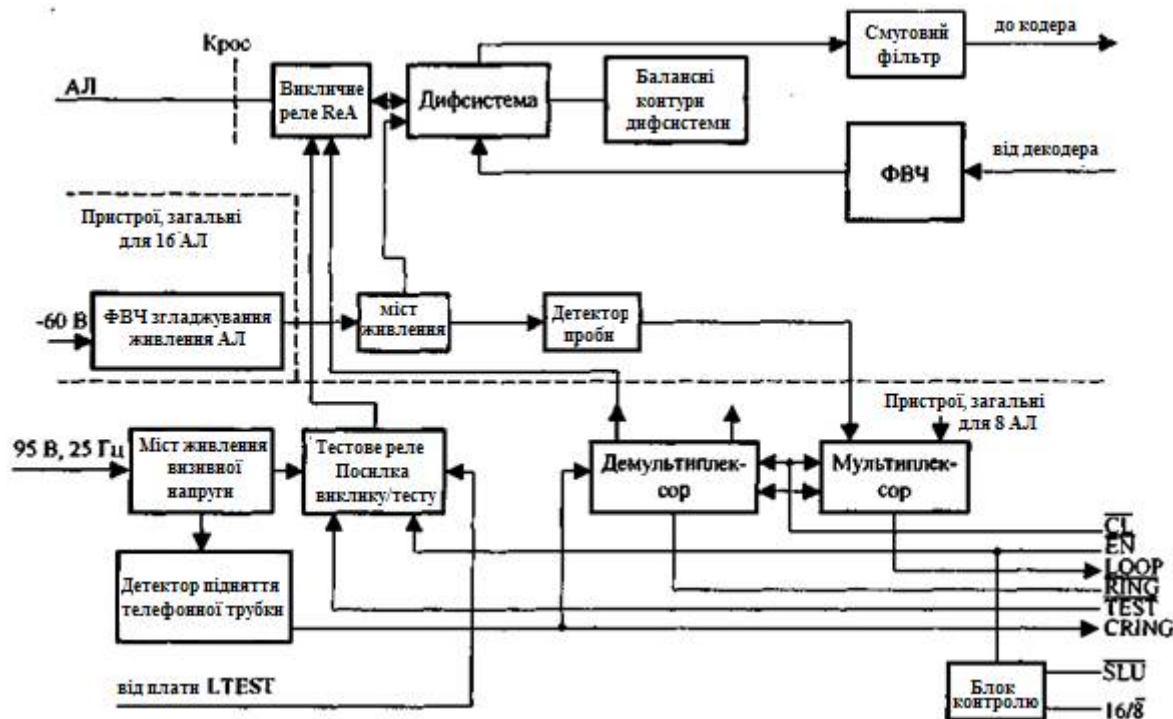


Рис.3. Структурна схема плати SLU16C

Подача напруги живлення мікрофонів на АЛ здійснюється через ФВЧ згладжування живлення АЛ, міст живлення, дифсистема і викличне реле. Завдяки дифсистемі ця напруга не потрапляє в ланцюги, що йдуть до кодера.

На кросі АТС встановлюються грозозорядники (первинний захист), а в схемі SLU16C за допомогою діодів передбачений захист від небезпечних напруг на чотирьохпровідній стороні дифсистеми і в детекторі підняття телефонної трубки.

Сигнал управління викличних реле (сигнал RING на рис. 3) надходить від процесора абонентської сигналізації, що знаходиться на платі кодера. Вибір конкретної АЛ відбувається за сукупністю сигналів CL, EN. Сигнал RING надходить на кожне реле з інтервалом 2 мс. Процесор абонентської сигналізації управляє передачею сигналу групі з 8 АЛ таким чином, що в кожен момент часу посиляється сигнал виклику тільки одному абоненту.

У початковому стані, коли телефонна трубка абонента покладена, АЛ через викличне реле (верхнє положення контактів), дифсистему, міст живлення і ФВЧ згладжування живлення АЛ підключена до джерела живлення напругою -60 В. Якщо абонент підняв телефонну трубку, в АЛ починає проходити струм. Це виявляє детектор проби, після чого за спеціальними програмами керуючі і виконавчі пристрої АТС через КП підключають до декодера цифровий генератор тональних сигналів, що знаходиться в

груповому каскаді станції. Цей генератор продукує сигнал «Відповідь станції» в цифровій формі і передає його в декодер в одному з каналів внутрішньої ІКМ лінії. Декодер перетворює цей сигнал в аналогову форму і через ФВЧ, дифсистему і викличне реле посилає його абоненту.

Абоненту, що телефонує передається сигнал «Контроль посилки виклику».

Якщо абонент відповів під час посилки сигналу «Виклик», детектор підняття телефонної трубки реєструє проходження постійного струму в одній з 8 АЛ. Після цього детектор підняття телефонної трубки блокує ланцюг подачі сигналів управління відразу 8 викличним реле (незалежно від того, надсилаються через них сигнали виклику чи ні) і передає сигнал CRING в процесор абонентської сигналізації. Потім відбувається відпускання викличних реле і підключення їх до дифсистеми. Детектор проби визначає АЛ, абонент якої відповів на сигнал «Виклик», і через мультиплексор посилає сигнал LOOP в процесор абонентської сигналізації. За допомогою сигналів CL і EN процесор припиняє подачу сигналу «Виклик» абоненту, що відповів (викличне реле не отримує сигналу управління і залишається підключеним до дифсистеми). Для інших абонентів, що отримали сигнал «Виклик» ці реле будуть знову повернуті у висхідний стан.

Під час розмови АЛ через викличне реле підключена до дифсистеми. Передавальний тракт через смуговий фільтр підключений до кодера, а приймальний – до декодера. Управління кодером і декодером здійснюється процесором абонентської сигналізації, які знаходяться на платі декодера. Один процесор обслуговує один кодер і один декодер (або 64 АЛ). Крім того, кодер здійснює концентрацію навантаження: сигнали від 64 абонентських ліній розподіляються на 30 каналних інтервалів лінії ІКМ-30.

Дифсистема плати SLU16С виконана за трансформаторною схемою.

За допомогою викличного реле абонентська лінія підключається до тестової ділянки плати LTEST. Сигнали, що управляють викличними реле (RING), тестовим реле (TEST), а також сигнали вибору реле (CL, EN) періодично подаються з процесора абонентської сигналізації. Через блок контролю процесор отримує відомості про наявність плати SLU16С на касеті (сигнал SLU) і про тип блоку абонентських комплектів, встановленого на даній касеті (сигнал 16/8). Правильність роботи кодера і декодера контролюється ЕОМ технічної експлуатації ЕАТС 200.

На рис. 4 приведена структурна схема кодера SUC. Всі сигнали, необхідні для його роботи, формуються з синхросигналів, отриманих з декодера SUD.

Мовні сигнали з плат SLU16С надходять на схеми SUC. Мультиплексор, керований процесором абонентської сигналізації SSP, здійснює попередню концентрацію навантаження (кожної з 64 АЛ надається один з 30 часових каналів внутрішньої лінії ІКМ-30, при відсутності вільних часових каналних інтервалів абоненту подається сигнал «Зайнято»).



У схемі кодування здійснюється аналого-цифрове перетворення мовних сигналів. З виходу схеми кодування часові каналні інтервали подаються в декодер SUD.

Схема зворотної передачі в декодер забезпечує процедури технічної експлуатації кодера SUC. Структурна схема декодера SUD показана на рис.5. Відзначимо особливості реалізації абонентського стику в цифровий EATS 200:

1. Для розв'язки ланцюгів живлення і контролю з електронними ланцюгами низької напруги використовуються мініатюрні електромагнітні реле (викличне і тестове реле);
2. Кодування (декодування) мовних аналогових сигналів, що надходять з АЛ, і їх часове ущільнення (зворотне перетворення) здійснюються груповим кодером (декодером);
3. Дифсистема виконана по трансформаторною схемою.

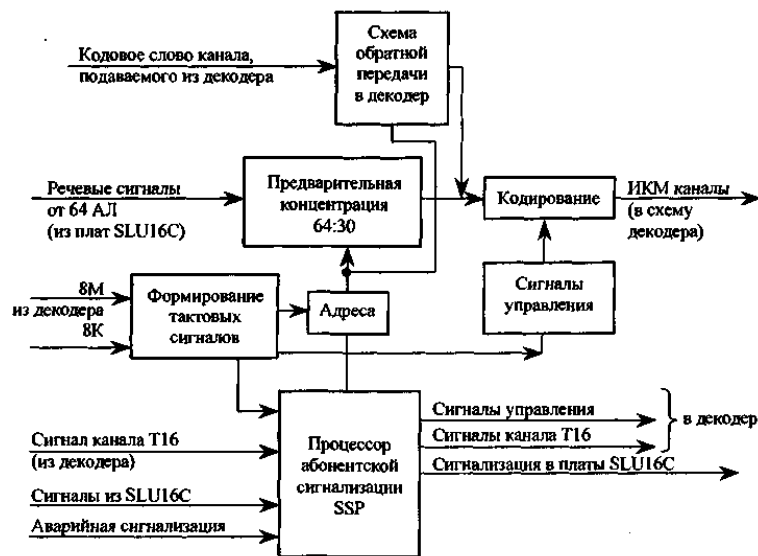


Рис.4. Структурна схема кодера SUC

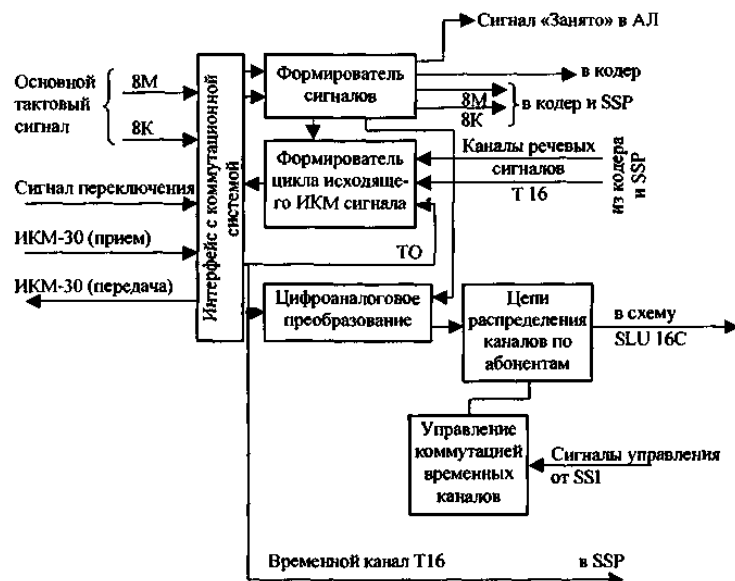


Рис.5. Структурна схема декодера SUD

## Абонентський комплект цифрової АТС АХЕ 10

Для цифрової системи АХЕ 10 шведська фірма LM Ericsson Telephone Co. розробила інший варіант абонентського комплекту (рис.6). В даному комплекті, лише дві функції (TEST і RING) виконуються за допомогою герконового реле, а всі інші – або апаратно (мікросхеми SLIC і SLAC), або за допомогою мікропроцесора програмно (один мікропроцесор обслуговує 8 АЛ з комплектами). На одній стандартній платі поміщаються 8 абонентських комплектів.

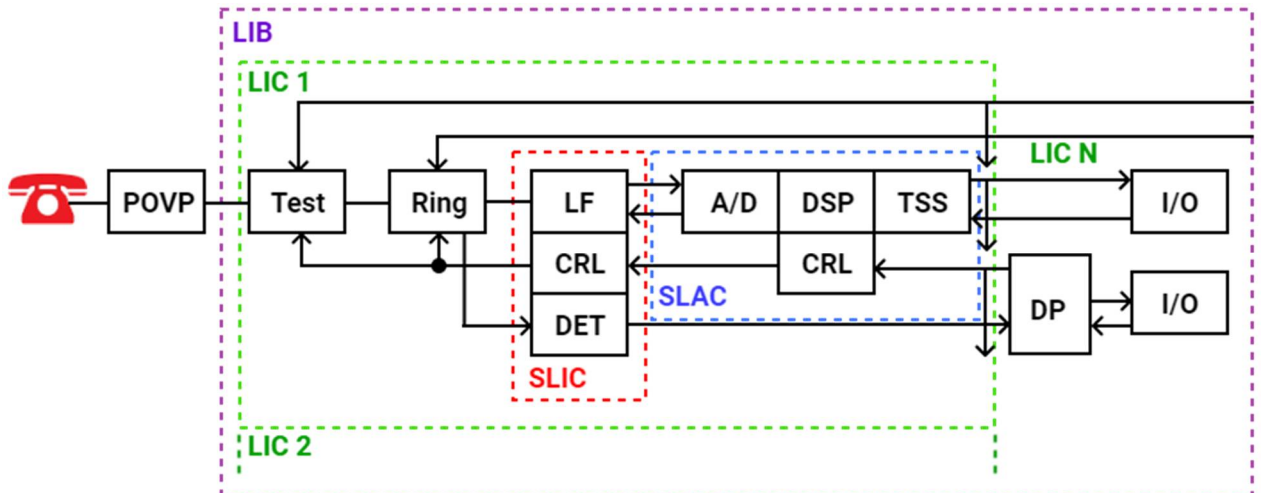


Рис.6. Структурна схема абонентського комплекту цифрової АТС АХЕ 10  
LIB – група з 128 абонентських комплектів; LIC – електронні абонентські комплекти; POVP – первинний захист від перенапруг; TEST – реле для з'єднання з шиною контролю; RING – реле для подачі викличних сигналів; LF - живлення мікрофонів, дифсистема; CLR (в модулі SLAC) – реле управління; DET – детектування сигналів; А/Д – аналого-цифровий і цифро-аналоговий перетворювачі; DSP – передача цифрових сигналів; TSS – формування часових каналів; CLR (в модулі SLIC) – контроль мікросхеми SLIC; DP – мікропроцесор; I/O – пристрій вводу/виводу.

Порівнюючи абонентські комплекти станцій ЕАТС 200 і АХЕ 10, можна відмітити особливості останнього:

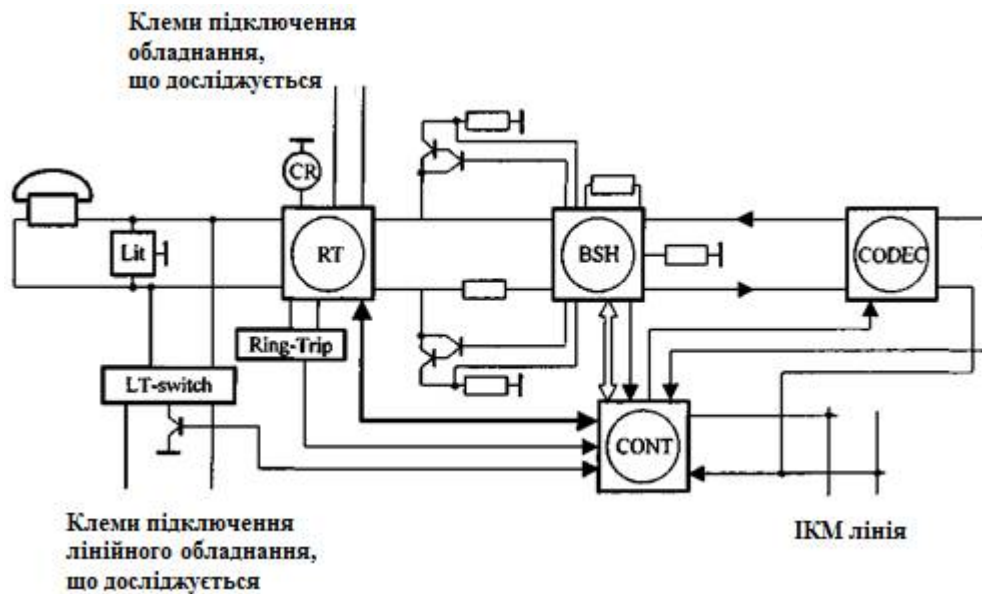
1. Електромагнітні реле замінені на герконові;
2. Дифсистема виконана за безтрансформаторною схемою;
3. Велика частина функцій BORSCHT реалізується індивідуальними для кожного абонентського комплекту мікросхемами SLIC і SLAC, причому в останню входять кодер і декодер.

## Електронний абонентський комплект цифрової АТС D70

Вищим досягненням в області створення абонентських комплектів цифрових АТС, що реалізують функції BORSCHT, слід вважати розробку і випуск комплектів, побудованих тільки на спеціалізованих ВІС.

Інженери японської фірми NTT почали розробку абонентських комплектів цифрової АТС D 70 в 1978 р Кілька років пішло на розробку і дослідну експлуатацію, а в 1984 р почалося їх серійне виробництво.

Структурна схема абонентського комплекту станції D 70 приведена на рис.7.



**Рис.7.** Структурна схема абонентського комплексу D70

LT-switch – схема підключення до випробувального устаткування, С – генератор сигналу «Контроль посилки виклику», Ring-Trip – схема розпізнавання підйому трубки, Lit – Грозоразрядник

Вісім абонентських комплектів розміщені на одній платі. Абонентський комплект АТС D 70 має наступні особливості:

1. є повністю електронним з використанням спеціалізованих ВІС;
2. дифсистема побудована по безтрансформаторній схемі;
3. є індивідуальним пристроєм (всі функції BORSCHT реалізуються в самому абонентському комплекті).

За оцінками фахівців фірми Siemens, вартість пристроїв узгодження абонентських з'єднувальних ліній становить близько 70% вартості всієї цифрової системи комутації. Тому стають зрозумілими зусилля багатьох розробників телефонної апаратури зі створення спеціалізованих ВІС для абонентських комплектів, що дозволяє значно скоротити їх вартість (іноді до 40%). Хоча, незважаючи на це, деякі фірми оголосили про створення абонентських комплектів, до складу яких поряд з ВІС входять реле.

Про створення безрелейних абонентських комплектів цифрових АТС на спеціалізованих ВІС оголосили кілька фірм, у тому числі італійська SGG-ATES. Абонентський комплект, розроблений нею, містить дві мікросхеми - сигнального процесора і абонентського стику з лінією. Власну інтегральну схему абонентського комплексу для станцій System 12 випускає також фірма ІТТ.

### 3. Цифровий абонентський стик

Створення різними фірмами цифрових телефонних апаратів можна розглядати як альтернативу дорогим, але тим, що мають безліч сервісних функцій і додаткових можливостей апаратів технології ISDN. Однак, з точки зору стандартизації, цифровий абонентський стик є «чистим аркушем», на якому кожна фірма може писати свої правила. Це означає, що цифровий ТА,

наприклад, фірми Siemens, реалізуючи практично весь спектр функцій ISDN телефону, може працювати тільки при підключенні до телефонних станцій фірми Siemens (EWSD, Nicom). Те ж саме стосується і цифрових ТА Ericsson, Alcatel і ін. Кожна фірма створює для своїх станцій певний інтерфейс, який підтримує «рідний» протокол для «свого» цифрового ТА.

Для двосторонньої передачі цифрової інформації по абонентських лініях можливе використання чотирьох типів систем:

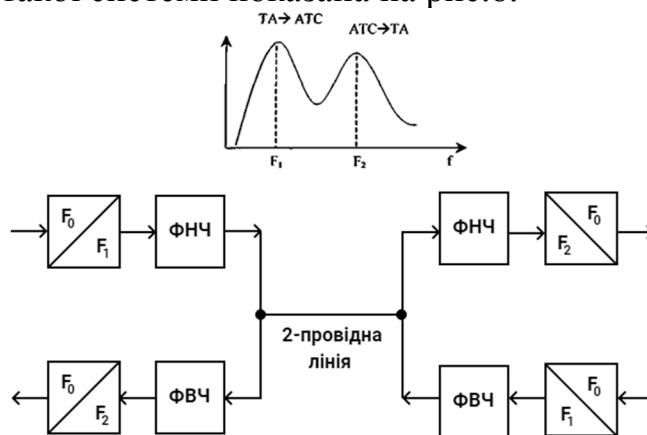
- чотирипровідна система;
- двопровідна система з частотним поділом напрямків передачі;
- двопровідна система з часовим поділом напрямків передачі;
- двопровідна система з адаптивними ехокомпенсаторами.

**Чотирипровідна система.** Ця система спочатку впроваджувалася на цифрових абонентських мережах для надання абонентам нетелефонних послуг при двосторонній незалежній передачі цифрової інформації.

Переваги цифрової передачі по чотирьох проводах полягають в досить вільному підключенні абонентських терміналів, що знаходяться на значній відстані один від одного і від опорної станції, а також в простоті схемних рішень. Система досить стійка до перехідних перешкод, дозволяє перекрити великий діапазон зміни загасання лінії без регенерації сигналу.

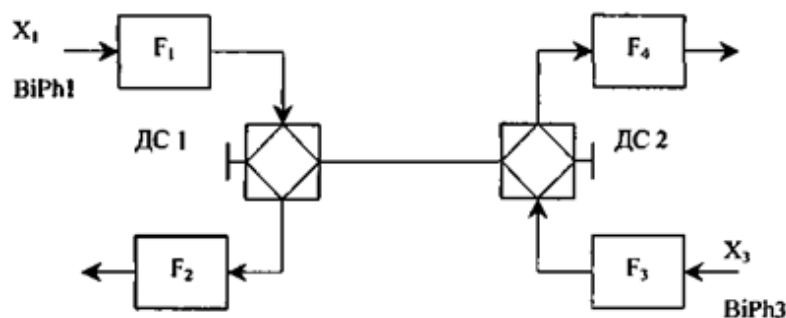
Однак вона характеризується низьким використанням передавальних можливостей кабелю. З огляду на те, що високошвидкісна передача по абонентській мережі цифрових АТС, як правило, не потрібна, це робить систему економічно не вигідною. У зв'язку з цим дана система має обмежене застосування, зокрема для користувачів в установах.

**Двопровідна система з частотним поділом напрямків.** По суті справи це двопровідна двохполосна система зв'язку, в якій необхідно мати смугу в два рази ширше смуги переданої інформації для одного каналу. Спрощена структурна схема такої системи показана на рис.8.



**Рис.8.** Спрощена схема системи передачі з частотним поділом напрямків

Реально реалізовані системи цього класу мали дещо іншу структуру, основною відмінністю якої було використання дифсистем, що дозволяло зменшити взаємний вплив напрямків передачі (рис.9.). Передача інформації ведеться біфазним кодом. В одному напрямку  $X_1$  передача ведеться кодом один період/символ, а в іншому напрямку  $X_3$ - кодом три періоди/символ.



**Рис.9.** Система передачі з частотним поділом напрямків і дифсистемами

Однак, через складність реалізації фільтрів на ВІС і НВІС такі системи не отримали широкого застосування.

**Двопровідна система з часовим поділом напрямків.** В системі з часовим поділом напрямків інтервали для передачі і прийому розділені в часі. При передачі від станції до абонента цифровий сигнал накопичується в буферному пристрої зберігання даних і потім зчитується зі швидкістю в два рази більшою. При цьому сигнали передаються у вигляді пакетів. На абонентській стороні сигнали, що передаються зі станції, накопичуються в буферному ЗП і потім зчитуються у вигляді неперервної послідовності цифрового сигналу.

Передача сигналів від абонента на станцію відбувається аналогічним чином у вигляді пакетів з використанням незайнятого часового інтервалу. Цей метод отримав назву «пінг-понг» (або метод з почерговим перемиканням напрямків).

Завдяки тому, що швидкість передачі по кабелю в два рази більше швидкості передачі сигналів джерела (сигнали пакетів станції передаються в кабель повністю синхронізованими по фазі), усувається перехідний вплив на ближньому кінці, що було важко при 4-провідній передачі.

Однак, реалізація методу «пінг-понг» з найменшими витратами має один недолік – невелику зону дії (близько 2 км). Тому, для організації системи з великою ємністю і великою протяжністю використовують різні методи компресії в часі. Більш того, якщо здійснити синфазну передачу по одному і тому ж кабелю, то навіть при наявності декількох трактів типу «пінг-понг» з різними швидкостями передачі, можна значно збільшити протяжність лінії.

На рис.10 представлена структурна схема двопровідного тракту з часовим поділом напрямків, що забезпечує повний двобічний режим роботи. Передача здійснюється у вигляді пачок імпульсів між абонентським напівкомплектами АНК і станційним напівкомплексом СНК, яким закінчується цифрова абонентська лінія.

Перемикання станційного та абонентського обладнання на режими передачі або прийому здійснюється комутаторами К за сигналами, що отримуються від пристрою синхронізації (Синхрон). Стики інформаційних потоків на обох кінцях здійснюються по 4-провідній схемі. Вхідна цифрова інформація записується в ЗП і перетворюється передавачем в короткі пачки цифрових сигналів, які з більш високою швидкістю передаються по лінії.

Швидкість передачі пачок повинна бути такою, щоб ефективна швидкість передачі дорівнювала або перевищувала швидкість цифрового потоку на вході, інакше частина інформації буде втрачена.

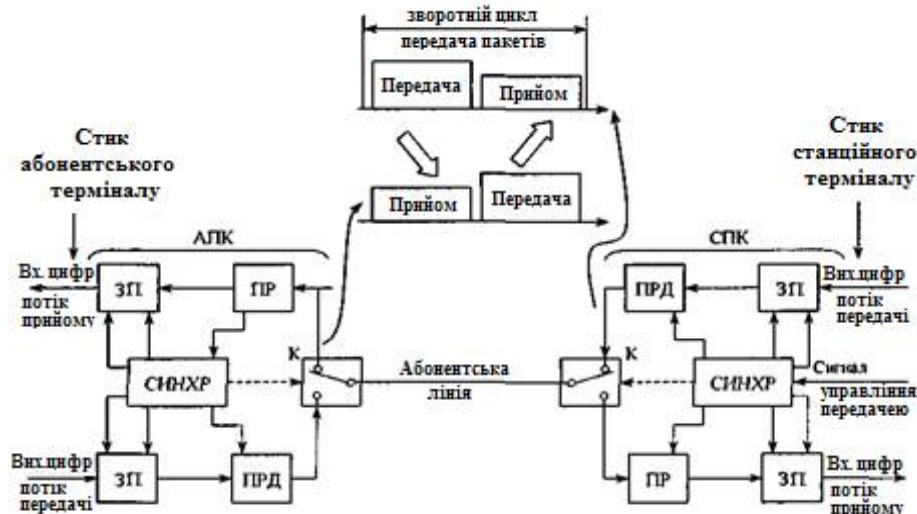


Рис.10. Принцип часового поділу напрямків передачі

Важливим завданням для системи з часовим поділом напрямків є вибір швидкості передачі і довжини пачки. Швидкість передачі з одного боку обмежується пропускною здатністю середовища передачі, а з іншого – визначається вимогами організованих послуг зв'язку. Цифрові ТА в першу чергу повинні забезпечувати послуги телефонного зв'язку, для яких потрібна швидкість 64 Кбіт/с, яка приймається за основу при проектуванні цифрових телефонних мереж. Однак ця швидкість може бути значно знижена при використанні методів диференціального та адаптивного кодування мови, що також дозволяє збільшити довжину лінії зв'язку.

**Двопровідна система з адаптивними ехокомпенсаторами.** Як уже згадувалося раніше, для поділу напрямків передачі цифрових сигналів можуть використовуватися дифсистеми. При цьому використовується той факт, що при узгодженні вихідного опору передавача з комплексним опором лінії, амплітуда сигналу в лінії буде дорівнює половині амплітуди сигналу, що передається. Тому приймається сигнал може бути отриманий шляхом вирахування половини вихідного сигналу передавача з сумарного сигналу в лінії (рис.11).

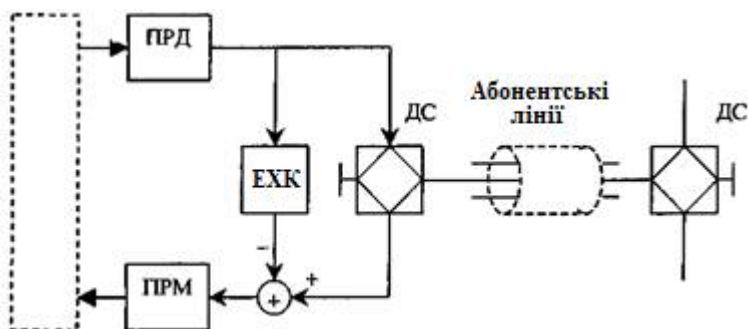


Рис.11. Структурна схема системи з адаптивними ехокомпенсаторами ПРД – передавач, ПРМ – приймач, ДС – дифсистема, ЕХК – ехокомпенсатор

Однак стандартні дифсистеми не можуть забезпечити повного поділу тракту передачі і прийому. Щоб зберегти необхідні характеристики по перехідному загасанню на ближньому кінці в широкій смузі частот, вводяться ехокомпенсатори ЕХК (рис.11), які перешкоджають проникненню імпульсів з тракту передачі в тракт прийому.

Крім цього, оскільки визначальне значення на якість передачі надає перехідний вплив на ближньому кінці, то при балансуванні дифсистем велике значення має протяжність лінії передачі. Положення ускладнюється також наявністю проводів різного діаметру і кабелів різних марок, що мають різні характеристики, в складі однієї абонентської лінії. Для компенсації розкиду величини вхідного опору абонентської лінії в цифрових абонентських лініях передбачається автоматичне підстроювання балансного контура дифсистеми. Однак в цьому випадку технічно дуже важко усунути міжсимвольну інтерференцію, обумовлену недосконалістю АРУ, автоматичного коректора відбитого сигналу і системи регулювання власне ехокомпенсатора.

Для подолання труднощів, пов'язаних з передачею цифрових сигналів по абонентських ліній, були запропоновані цифрові дифсистеми, об'єднані з цифровими ехокомпенсаторами. Останні забезпечують придушення ехосигналів не менше ніж на 45 дБ. Тому застосування їх на абонентських лініях особливо доцільно.

#### 4. Абонентський стик ISDN

Використання цифрових абонентських ліній, в першу чергу, дозволяє забезпечувати користувачів якісним зв'язком, значно розширити спектр послуг, що надаються, збільшити швидкість передачі. Розвиток цифрових телефонних мереж перш за все пов'язано з технологією ISDN (Integrated Services Digital Network). Крім телефонії мережі ISDN дозволяють: передавати дані, об'єднувати віддалені локальні обчислювальні мережі (ЛОМ), забезпечити доступ до Інтернет, передавати трафік відеоконференцзв'язку.

Технологія ISDN включає базовий доступ (BRI або BA) і первинний доступ (PRI або PA). Базовий доступ передбачає надання абоненту двох каналів по 64 Кбіт/с для передачі трафіку (типу В) і одного каналу сигналізації 16 Кбіт/с (канал типу D). Первинний доступ передбачає надання абоненту 30 В-каналів по 64 Кбіт/с для передачі трафіку і одного D-каналу сигналізації (також 64 Кбіт/с).

Підключення абонентів до цифрової АТС здійснюється зазвичай по електричному двопровідному кабелю:

- для базового доступу через інтерфейс типу  $U_0$ ,
- для первинного доступу через інтерфейс  $U_{k2}$ .

При цьому необхідно зазначити, що МСЕ-Т не проводив стандартизацію цих інтерфейсів. Для інтерфейсу  $U_0$  офіційною причиною вважається те, що фізичні характеристики ліній, які застосовуються для ISDN, в різних країнах відрізняються між собою, а форма сигналу на стику повинна бути узгоджена з цими характеристиками. Однак реальною причиною, на думку багатьох фахівців, є збіг інтересів компаній, що випускають телекомунікаційне

обладнання, і операторів зв'язку. Перші не хочуть вносити зміни в уже розроблені ними різні стандарти для С-інтерфейсу, а другі мають можливість заробляти на оренді термінального обладнання.

Незважаючи на це в абонентському доступі ISDN немає такого різноманіття, як при цифровому абонентському доступі. В даний час в світі використовується в основному три типи  $U$ - інтерфейсу, які розрізняються протоколами лінійного кодування: 2В1Q, 4В3Р і  $U_{po}$ . З них в Європі найбільшого поширення набуло використання коду 2В1Q із забезпеченням дистанційного живлення термінального обладнання через інтерфейс  $U$  номінальною напругою 90-120 В. Таке рішення підтримується практично всіма європейськими компаніями (Siemens, Ericsson, Alcatel, Italtel і ін.). Тому існує велика ступінь ймовірності, що термінальне обладнання абонента буде взаємодіяти з цифровою АТС, що використовується.

На стороні цифрової АТС абонентські лінії включаються в лінійні комплекти (LT) і станційні закінчення (ET), які для кожної станції є частиною обладнання абонентських комплектів.

Основні відмінності між можливостями інтерфейсів  $U_0$  і  $U_{k2}$  полягають у наступному:

- з'єднання для PRI можливо тільки для режиму «точка-точка». BRI може підтримувати режим з'єднання «точка-багатоточок»;
- живлення інтерфейсу PRI повинне забезпечуватись окремим каналом живлення, або окремим блоком живлення;
- фізичний рівень PRI постійно активний (що обумовлено застосуванням цього інтерфейсу в основному для обладнання, що працює постійно). У зв'язку з цим процедури активації і дезактивації інтерфейсу PRI відсутні;
- для організації обміну сигнальною інформацією в PRI і в BRI використовується виділений канал, який зазвичай відповідає 16-му канального інтервалу ІКМ.

У інтерфейсах типу  $U$  можна використовувати протоколи, основні з яких наведені в табл. 3. В Європі найбільше поширення з них отримав протокол E-DSS1 (інші назви євро - ISDN, ETSI). У Росії та Білорусі E-DSS1 схвалений в якості національного стандарту для ISDN мереж.

Таблиця 1. Протоколи для мережі ISDN

протокол	Взаємодія з АТС	область поширення
E-DSS1	з усіма	Європа
CorNet-T	Siemens	Європа
CorNet-N	Siemens	Європа
1TR-6	Bosch / Telenorma	Німеччина
TN1R6-T	Bosch / Telenorma	Німеччина
TN1R6-N	Bosch / Telenorma	Німеччина
N1-1, N1-2	Lucent, NORTEL, Harris	Північна Америка



Як показано на рис.12, до цифрової АТС підключаються мережеві закінчення NT: NTBA або NTPA. (В деяких випадках при первинному доступі функції NTPA можуть включатися в УПАТС.) Призначення мережевого закінчення – перетворення інтерфейсу  $U$  в інтерфейс  $S_0$  (інтерфейс «користувач-мережа») для підключення ISDN обладнання. Інтерфейс  $S_0$  використовує 4-провідну лінію зв'язку і стандартизований в рекомендаціях МСЕ-Т 1.430, Q.921, Q.931. Ряд цифрових АТС мають вбудовані стики типу  $S_0$  для безпосереднього включення ISDN обладнання – у разі, коли відстань між обладнанням і АТС не перевищують декількох сотень метрів.

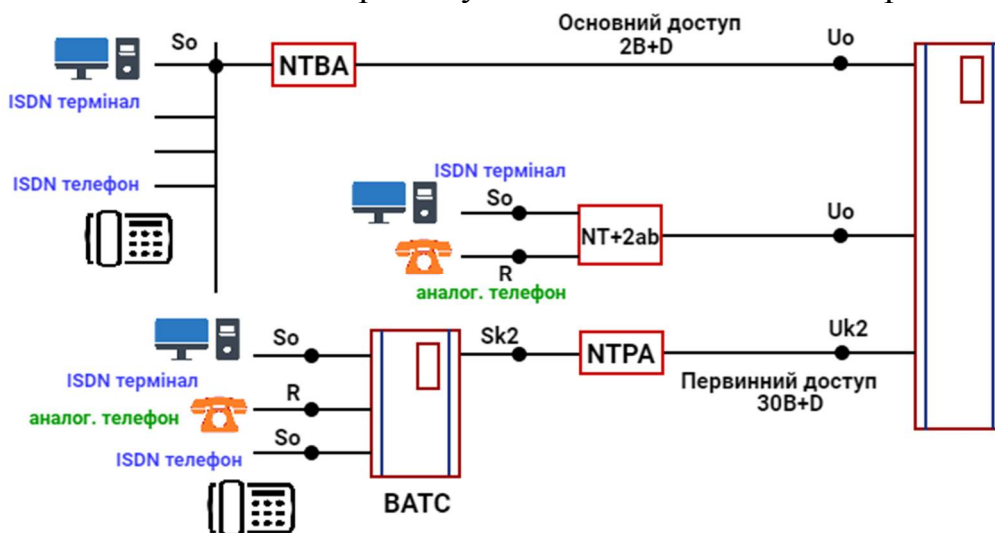


Рис.12. Приклади підключень в мережі ISDN

Можна відзначити, що інтерфейси BRI і PRI широко використовуються для підключення відомчих АТС до телефонної мережі загального користування (інтерфейс BRI забезпечує 2 сполучні лінії, а PRI – 30 з'єднувальних ліній) завдяки зручності використання в них протоколу E-DSS1. Хоча такі стики, в принципі, повинні вважатися вже на абонентськими, а мережевими.

#### 4.5. Мережеві стики цифрових АТС

Під мережевим стиком будемо розуміти точку підключення до цифрової АТС обладнання, відмінного від абонентського. Це можуть бути інші АТС, пристрою сполучення з мережами доступу, передачі даних, управління та ін. Зупинимося на найбільш важливих з них.

##### Стик з ЦСП

При з'єднанні цифрової АТС з іншою цифровою АТС, або при встановленні між цифровою АТС і аналоговою АТС цифрової системи передачі, на першій організується цифровий стик. В цьому випадку реалізується одна з найважливіших переваг ЦСК, яке полягає у створенні єдиного цифрового подання інформації в тракті «передача-комутація».

Так, представлення мовного сигналу у вигляді ІКМ сигналу (швидкість - 64 Кбіт/с, 8 біт в кодовому слові) аналогічно як для цифрових комутаційних систем, так і для апаратури ЦСП. Здавалося б, ніяких проблем щодо стикування ЦСП і цифрових комутаційних систем бути не повинно. Проте

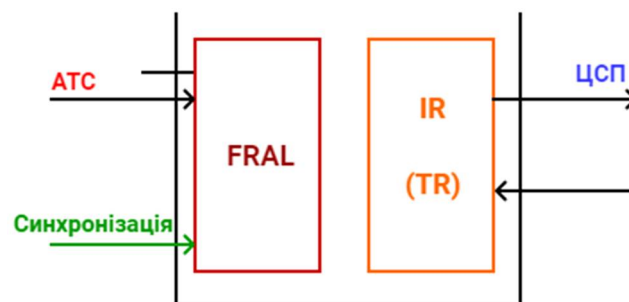
насправді становище трохи інакше. *По-перше*, в телефонній мережі можуть використовуватися (і реально використовуються) ЦСП, що не входять в ієрархію систем передачі МККТТ (наприклад, ІКМ-15, спеціальні ЦСП АЛ). *По-друге*, в силу особливостей побудови цифрових КП структура циклів всередині них відрізняється від структури циклів ЦСП. МККТТ визначив, що не буде висунуто жодних вимог щодо структури циклів ІКМ трактів всередині ЦСК. Розробники цифрових АТС мають можливість здійснювати на свій розсуд часове ущільнення ІКМ потоків (вторинне мультиплексування) в АТС, змінювати довжину кодового слова. *По-третє*, кодування слів в лінії ІКМ і всередині АТС різняться.

До цифровому стику ЦСП і цифрової АТС пред'являються дві групи вимог: електричні і логічні.

Необхідність узгодження структур циклів означає, що на вході ЦСП повинні бути сформовані цикли, що відповідають вимогам даної ЦСП. Таке узгодження здійснюється зазвичай при вторинному демультимплексуванні всередині АТС.

Наприклад, в ЕАТС 200 сполучення ІКМ ліній (ІКМ-30) зі станцією здійснює блок ЕТ, в якому передбачені спеціальні схеми для електричного узгодження ІКМ лінії з АТС.

Логічне узгодження включає перетворення лінійного сигналу коду НДВЗ в двійковий код і навпаки, синхронізацію вхідних сигналів відповідно до тактовими сигналами станції.



**Рис13.** Структура блоку ЕТ

Структури циклів ІКМ-30 і циклів всередині ЕАТС 200 однакові, тому необхідність їх узгодження відпадає. Крім того, на блок ЕТ покладено обов'язок контролю якості передачі сигналів по ІКМ лінії.

Перетворенню піддаються біти каналного інтервалу  $T_0$ . ЕОМ техобслуговування ОМС управляє блоком ЕТ по каналному інтервалу  $T_0$  і може здійснювати наступне:

1. установку блоку ЕТ в стан нормальної роботи;
2. перемикання блоку ЕТ в режим діагностики;
3. передачу сигналу аварії до модулів комутаційної системи ЕАТС 200 і на дальній кінець ЦСП.

Блок ЕТ складається з двох плат: блоку циклової синхронізації (FRAL) і регенератора (узгоджувального регенератора ІР або станційного регенератора TR) (рис.13).

## Стик з аналоговими з'єднувальними лініями і системами передачі

Досить часто на початкових етапах впровадження цифрової телефонної мережі для зв'язку аналогової і цифрової АТС використовуються існуючі або новостворювані аналогові фізичні з'єднувальні лінії (ЗЛ). В цьому випадку для кожної системи сигналізації аналогових сполучних ліній організовується окремий стик. На рис. 14 показані принципи узгодження цифрової ЕАТС 200 з міськими станціями типу АТС-47, АТС-54, АТСК і АТСК-У з двопровідними фізичними з'єднувальними лініями з сигналізацією постійним струмом.

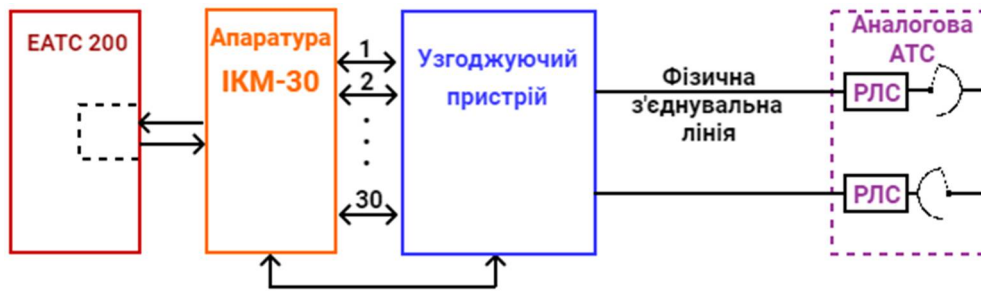


Рис.14. Схема зв'язку ЕАТС 200 з електромеханічними АТС (РЗЛ – реле ЗЛ)

Узгоджувальний пристрій (рис.15), умовно можна розділити на дві частини: каналну і сигнально-синхронізаційну. Схеми, розміщені в каналах узгоджувального пристрою, перетворюють сигнальні послідовності постійного струму фізичних з'єднувальних ліній в сигнали, що подаються в блок управління. Канальна частина не виробляє ніякої логічної обробки сигналів, що надходять з ліній.

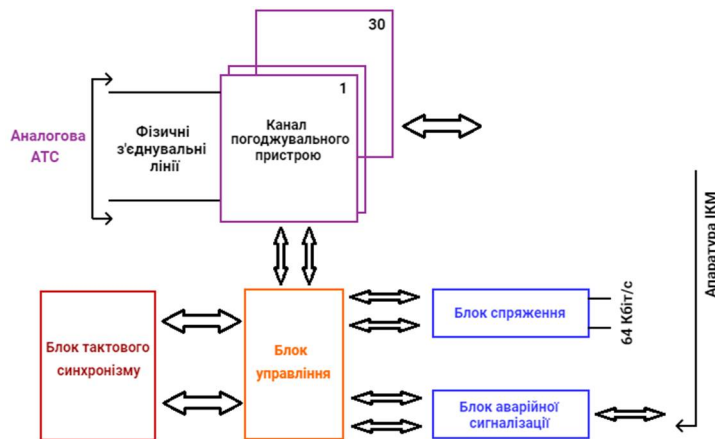


Рис.15. Схема узгоджувального пристрою

Блок управління виділяє сигнальну інформацію кожної з'єднувальної лінії через 2 мс. Здійснивши відлік, він обробляє його і посилає відповідні кодові послідовності (згідно з кодами 16-го каналного інтервалу ІКМ-30) в сполучається блок, який здійснює узгодження блоку управління з ІКМ апаратурою за принципом протинаправленість стику.

Всі необхідні для роботи узгоджувального пристрою синхронізуючі сигнали створює блок тактового синхронізму.

Аналогові системи передачі з об'єднанням частотно-розділених каналів (по-старому, системи з ЧРК) досить довго збережуться на мережі в перехідний

період від аналогового телефонного мережі до цифрової. Тому необхідне узгодження цих систем з цифровими АТС.

Сполучення аналогових і цифрових систем передачі і комутації може бути забезпечено за допомогою спеціальної апаратури трьох видів:

- кодерів групових сигналів з частотним поділом;
- трансмультиплексорів;
- модемів.

*Кодери групових сигналів з частотним поділом* призначені для перетворення аналогових групових сигналів в цифрову форму з метою передачі їх по цифровим трактах. Вони застосовуються при організації зв'язку між аналоговими зонами мережі зв'язку за допомогою цифрових систем передачі.

Якщо потрібно з'єднання цифрових зон зв'язку за допомогою аналогових систем передачі, можуть бути використані або *трансмультиплексори*, призначені для поканального перетворення групових сигналів ЦСП в аналогові сигнали і назад, або *модеми*, функцією яких є перетворення цифрових потоків до виду, необхідному для їх передачі в лінійних трактах аналогових систем передачі.

Трансмультиплексори дозволяють більш ефективно використовувати пропускну здатність аналогових трактів при передачі в них сигналів окремих каналів, однак за допомогою модемів можна передавати цифрові сигнали з більш високою швидкістю. Крім того, модеми відрізняються від трансмультиплексорів нижчою вартістю.

Вибір того чи іншого типу пристрою проводиться з урахуванням конкретних умов організації зв'язку і економічних показників.

### **Стик з мережею доступу**

Майже для всіх цифрових АТС сьогодні для інтерфейсів для підключення цифрових ліній комутаційних систем використовуються тракти 2048 кбіт/с і власні протоколи різних розробників. Це фактично означає обмеження для операторів зв'язку на свободу вибору додаткового обладнання при розширенні станції, з метою надання нових послуг або обслуговування нових абонентів.

У загальному сенсі під *мережею доступу* розуміють номенклатуру категорій абонентів (передача мови, даних, відео) і середовищ передачі (металевий і волоконно-оптичний кабель, бездротовий доступ). Універсальний інтерфейс, що дозволяє поєднувати всі технології абонентського доступу в єдину мережу – мережу доступу, отримав назву V5 – *інтерфейс мережі доступу*.

**Інтерфейс V5** має два різновиди – V5.1 і V5.2. Інтерфейс V5.1 дозволяє підключити до АТС по цифровому тракту 2048 кбіт/с до 30 аналогових АЛ без концентрації. При цьому сигналізація здійснюється за загальним каналом. Інтерфейс V5.2 містить кілька (до 16) трактів 2048 кбіт/с і підтримує концентрацію з коефіцієнтом не більше 8 і динамічне призначення каналних інтервалів. У цьому полягає принципова відмінність інтерфейсів V5.1 і V5.2. Канальні інтервали (в специфікації інтерфейсу – несучі канали) інтерфейсу

V5.1 жорстко закріплені за цифровими каналами абонентських трактів, тобто між цими каналами існує постійне з'єднання. В інтерфейсі V5.2 жорстке закріплення несучих каналів за каналами абонентських портів відсутнє. При цьому, завдяки можливості концентрації, кількість використовуваних несучих каналів в інтерфейсі завжди менше кількості обслуговуваних каналів абонентських портів. Несучий канал інтерфейсу V5.2 надається тільки тому каналу абонентського порту, для якого запитується послуга зв'язку і тільки на час користування цією послугою. При цьому в кожному тракті 2048 кбіт / с може бути передбачено кілька каналів сигналізації.

### Стик з мережею TMN

Розвиток телекомунікаційних мереж від повністю аналогових до плезіохронних і повністю цифрових з використанням технології SDH, поновому поставив питання адміністрування та управління такими складними мережами. Багато виробників обладнання в даний час використовують різні системи управління для різних виробничих, оперативних і адміністративних завдань. Централізація управління в цьому сенсі утруднена через використання різних типів користувацьких і мережевих інтерфейсів.

Телекомунікаційна мережа управління – TMN (Telecommunication Management Network) запропонована МСЕ як єдина концепція управління для широкого кола мережевого обладнання та різного класу задач. Мережа TMN надає стандартизовані інтерфейси, функції управління, маршрутизацію для мереж з різним обладнанням, різних версій від різних виробників.

TMN концептуально являє собою окрему мережу (рис.16), підключену через спеціалізовані інтерфейси (інтерфейси Q3) в безліч точок телекомунікаційної мережі для отримання інформації та управління її функціонуванням. Оператор мережі має можливість керувати великою кількістю розподіленого обладнання з обмеженої кількості вузлів управління.

На цифрових АТС стандартний інтерфейс Q3 реалізований зазвичай у вигляді підсистеми і містить дві функції:

- вбудований Q-адаптер, призначений для перекодування повідомлень, що приходять від *операційної системи* TMN у внутрішні повідомлення АТС і назад (наприклад, перетворення команд MML операційної системи АТС в формат інтерфейсу Q3 і назад).
- стек протоколів Q3, що забезпечує необхідні можливості зв'язку, відповідні концепції Взаємодії Відкритих Систем (OSI).



Рис.16 . Взаємодія між телекомунікаційною мережею і TMN

# ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ ТМЗК

## 1. Телефонна мережа загального користування

*Мережа зв'язку (МЗ)* – це сукупність усіх систем, засобів і пристроїв зв'язку, що забезпечують передачу інформації. Це складна, багатофункціональна система, що постійно розвивається і відновлюється.

У загальному випадку елементами мереж зв'язку є:

а) *Абонентські термінали (АТ)*, що забезпечують взаємодію користувачів з мережею по введенню, виведенню і первинній обробці повідомлень. АТ перетворюють інформацію споживача в сигнали зв'язку і розміщуються в *кінцевих пунктах (КП)*, що можуть бути стаціонарними або рухомими (мобільними).

б) *Вузли зв'язку*, що містять пристрої комутації, або переключень, які розподіляють повідомлення між споживачами по різних напрямках зв'язку. Вузли зв'язку роблять звичайно стаціонарними, але вони можуть бути і пересувними. Розрізняють *комутаційні та мережеві* вузли зв'язку. Основна відмінність їх у тому, що комутаційні забезпечують короткочасне з'єднання (комутацію) каналів, а мережні довгострокове (т.з. назване кросове з'єднання). Комутаційні вузли, у які включені абонентські термінали, називаються *комутаційними станціями*.

в) *Направляючі системи* (лінії зв'язку), що надають шляхи передачі повідомлень у мережі електрозв'язку.

г) *Системи передачі (СП)*, що забезпечують передачу і прийом повідомлень по направляючих системах.

д) *Системи керування мережею*, що виконують функції короткострокового планування мереж і контролю за їхньою роботою.

Крім перерахованих вище основних елементів будь-яка мережа електрозв'язку містить різноманітне додаткове устаткування, що забезпечує

електроживлення, захист, синхронізацію, аварійну сигналізацію, виміри і тестування, тарифікацію й ін. функції.

Традиційно розрізняють наступні види мереж загального користування: міські, сільські, зонові і міжміські.

**Міські телефонні мережі (МТМ)** забезпечують зв'язок на території більш чи менш великого міста і його передмість.

**Сільські телефонні мережі (СТМ)** забезпечують телефонний зв'язок в межах сільських адміністративних районів. Мережі цих двох видів об'єднує спільна назва – **місцеві телефонні мережі**.

**Зонові телефонні мережі** – це комплекс споруд, що призначені для зв'язку між абонентами декількох місцевих телефонних мереж, розташованих на території однієї телефонної зони. В такій зоні використовується єдина семизначна зонава нумерація. Території телефонних зон часто співпадають з територіями областей чи інших адміністративних утворень.

**Міжміська телефонна мережа** – це комплекс споруд, які призначені для зв'язку між абонентами місцевих телефонних мереж, розташованих на території різних телефонних зон.

Всі названі вище мережі разом утворюють **телефонну мережу загального користування (ТМЗК)**.

Обов'язкова вимога до ТМЗК – повна зв'язність між всіма місцевими, національними і регіональними телефонними мережами. Більш того, мережа передбачає, щоб будь-який абонент міг з'єднатися з будь-яким іншим абонентом, отримуючи на національному і регіональному рівнях можливість передачі даних, їх комутації і захисту.

Крім ТМЗК, існують також **відомчі, корпоративні** телефонні мережі, які забезпечують внутрішній телефонний зв'язок підприємств, відомств, корпорацій, організацій. Такі мережі можуть бути і повністю автономними, але частіше за все вони мають доступ до телефонної мережі загального користування. Модель української телефонної мережі загального користування показано на рис. 1.



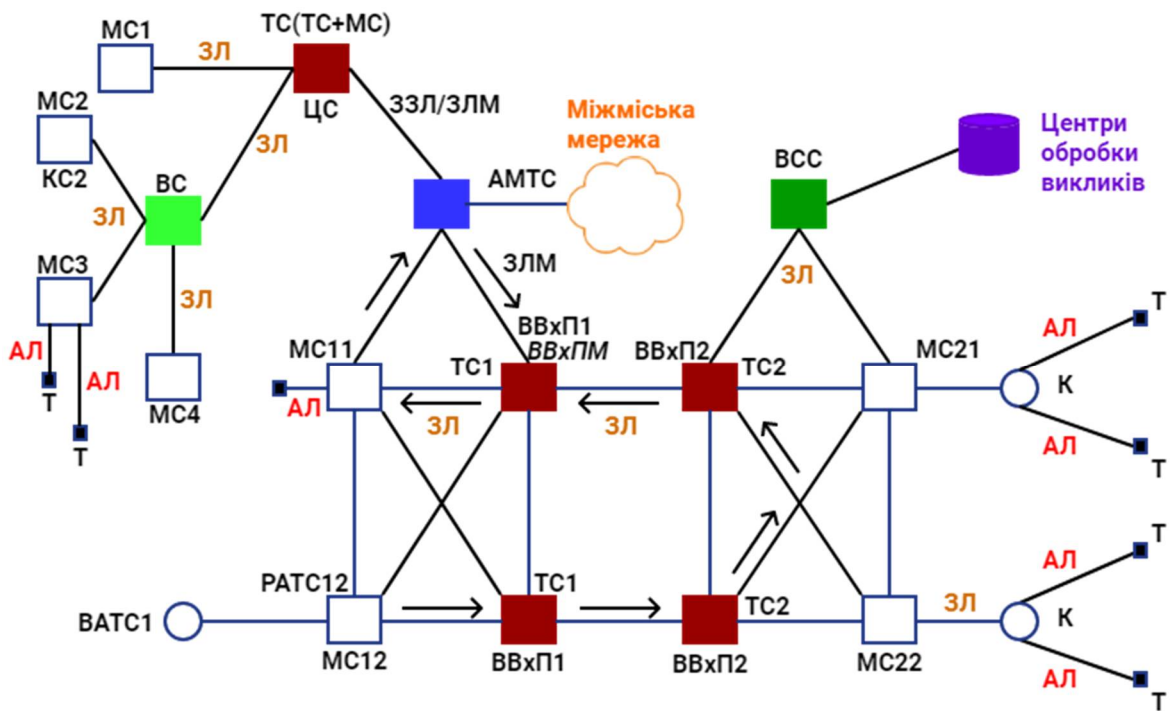


Рис. 1. Модель української ТМЗК

АЛ – абонентська лінія	ЗЛМ – з'єднувальна лінія міжміського зв'язку
АМТС – автоматична міжміська телефонна станція	К - концентратор
БАТС – відомча АТС	КС – кінцева станція
ВВП – вузол вихідного повідомлення	МС – місцева станція
ВВхП – вузол вхідного повідомлення	МТМ – міська телефонна мережа
ВВхПМ – вузол вхідного повідомлення міської мережі	ПАТС – районна АТС
ВС – вузлова станція	СТМ – сільська телефонна мережа
ВСП – вузол сільського-приміського зв'язку	Т – термінал
ВСС – вузол спецслужб	ТА – телефонний апарат
ЗЗЛ – заказна з'єднувальна лінія	ТС – транзитна станція
ЗЛ – з'єднувальна лінія	ЦС – центральна станція

## 2. Первинна та вторинні мережі.

*Первинною* мережею (транспортною) називається сукупність направляючих систем, систем передачі, мережних вузлів і мережних станцій, що забезпечує утворення типових каналів і мережних трактів і надання їх вторинним МЗ і окремим користувачам.

Умовно МЗ розподіляється на первинну МЗ, яка об'єднує ЛЗ та СП, та вторинну МЗ, яка будується на базі первинної.



На базі єдиної первинної мережі створюються окремі вторинні мережі, призначені для організації різних видів зв'язку. Будь-яка мережа, побудована на базі каналів первинної мережі, може бути названа *вторинною* мережею.

## 2.1. Транспортна мережа (первинна)

Структура транспортної мережі враховує адміністративний розподіл країни. Територія країни поділена на телефонні зони. Ознака зони – єдина 7-значна нумерація. Як правило зони співпадають з територіями областей. Відповідно до цього розподілу ТМ складається з окремих частин:

*місцеві ТМ* - обмежені територією міста або сільського району;

*внутрішньозонові ТМ* - охоплює територію зони і забезпечує з'єднання місцевих мереж всередині зони;

*магістральна ТМ* - сполучає зонові мережі.

Місцеві транспортні мережі в даний час, створюються операторами ТМЗК і кабельного телебачення (КТБ). В деяких випадках місцеві транспортні мережі організуються за рахунок систем супутникового зв'язку.

В транспортній мережі іноді виділяють два види МВ (мережевих вузлів), які розрізняють за функціями, що вони виконують. Якщо в МВ здійснюється напівпостійна комутація каналів і трактів, то їх називають мережевими вузлами перемикання. Деякі МВ здійснюють тільки виділення каналів і трактів із загального пучка ліній передачі. Такі МВ називають мережевими вузлами виділення каналів.

Типовий приклад МВ перемикання – ЦКВ (Цифровий комутаційний вузол, DXC, Digital Cross Connect). Окрім ЦКВ в транспортних мережах широко використовується мультиплексор виділення каналів (МВК або Add-Drop Multiplexer (ADM)). МВК можна розглядати як хороший приклад МВ виділення каналів.

ЦКВ і МВК відносяться до класу цифрових МВ. Транспортні мережі також можуть містити аналогові МВ, які поступово замінюються сучасними ЦКВ і/або МВК.

Як лінії передачі МТМ і СТМ можуть застосовуватися тракти, утворені аналоговими і цифровими системами передачі. Ці системи передачі – стосовно МТМ і СТМ – зараз використовують практично всі відомі середовища поширення сигналів. В перспективі транспортні мережі розвиватимуться за рахунок використання ЦСП (цифрових систем передавання), що відносяться до класу синхронної цифрової ієрархії (СЦІ, SDH). Для кабелів зв'язку найперспективнішим середовищем розповсюдження сигналів вважається ОВ.

## 2.2. Комутовані (вторинні) мережі.

Кожна мережа зв'язку крім технічних засобів первинної мережі використовує пристрої, властиві цій мережі. *Вторинна мережа (ВМ)* - сукупність технічних засобів, що забезпечують передачу інформації певного виду.

Класифікація вторинних мереж електрозв'язку можлива за багатьма ознаками, наприклад:

- **територіальному:** міжнародні, міжміські або національні, зонові (внутрішньообласні), місцеві (міські та сільські), локальні, у тому числі і внутрішньовиробничі мережі;
- **приналежності:** загальнодержавні, відомчі і приватні;
- **структурі побудови** (топології): повнозв'язні, радіальні, радіально-вузлові, деревоподібні, кільцеві, сітчасті тощо. Припустима й змішана або комбінована структура мережі, що поєднує фрагменти різних топологій.
- **виду переданої інформації:** телефонні, телеграфні, передачі даних, звукового віщання й ін.

На Україні в складі ЄНСЗУ існують загальнодержавні вторинні мережі: телефонна мережа загального користування (ТфМЗК), абонентського телеграфування (АТ), телеграфна мережа загального користування (ТгЗК),

провідного віщання (ПВ) і розподілу програм телевізійного віщання (РПТВ), мережа передачі даних і комутації пакетів (УкрПАК) і стільникова мережа мобільного зв'язку (СММЗ).

Стосовно ТМЗК трактування мережі, маючи на увазі комплекс технічних засобів, що складається з обладнання комутації, передачі, середовища поширення сигналів і інших елементів, і «створення мережі» асоціюються з будівництвом лінійних споруд, установкою комутаційного обладнання і подібними роботами - правомірне. Дійсно йдеться про побудову великої мережі, яка включає великий комплекс технічних засобів. Якщо ж ми говоримо про ЦМІО (цифрові мережі інтегрального обслуговування), то ситуація істотно змінюється. Нова мережа, насправді, не створюється. В цифрову комутаційну станцію вводяться додаткові апаратно-програмні засоби, а у користувача ЦМІО встановлюється нове обладнання. Аналогічна картина складається при введенні послуг ІМ (Інтерактивної мережі). Говорячи про побудову ЦМІО або ІМ, ми маємо на увазі модернізацію ТМЗК, а не створення нової мережі. В цьому значенні, ТМЗК розвивається як система, що підтримує послуги, які істотно перевищують функціональні можливості традиційної телефонії.



Рис.2. Класифікація комутуваних мереж.

Таким чином, ТМЗК включає також ЦМІО, ІМ і ряд інших мереж. Дуже схожа картина складатися з іншими комутованими мережами ВМЗ України. На рис.2 наведена класифікація комутованих мереж. Всі комутовані мережі ВМЗ України можна розділити на два великі класи – інтерактивні і розподілу інформації. Схожа класифікація використовується в рекомендаціях МСЕ серії I.200, які були пов'язані з послугами широкосмугової цифрової мережі інтегрального обслуговування (Ш-ЦМІО). Блок з написом "Ш-ЦМІО" поміщений трохи нижче за два прямокутники – "Інтерактивні мережі" і "Мережі розподілу інформації". Цим підкреслюється той факт, що Ш-ЦМІО ще не існує, але з точки зору функціональних можливостей її можна розглядати як самостійну мережу, що входить у ВМЗ України.

Термін "Первинна мережа" був введений як назва сукупності каналів і трактів, ресурси яких використовуються різними *вторинними мережами* – телефонною, телеграфною та іншими. На рис. 3. показано транспортну (первинну) і комутовані (вторинні) мережі. Ця модель ілюструє принципи використання ресурсів транспортної мережі для організації телефонного зв'язку і передачі даних (ПД).

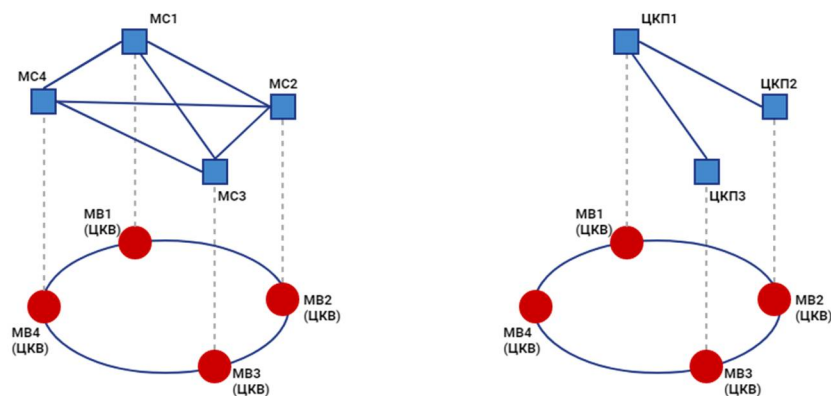


Рис. 3. Транспортна і комутовані мережі.

МС – місцева станція	ЦКВ – цифровий кросовий вузол
МВ – мережевий вузол	ЦКП – центр комутації пакетів

Лівий фрагмент Рис. 3 ілюструє принципи побудови гіпотетичної МТМ, що складається з чотирьох МС. Правий фрагмент показує ідею побудови мережі передачі даних, що утворюється трьома центрами комутації пакетів

(ЦКП). Нижні частини лівого і правого фрагментів ідентичні, оскільки відображають загальну транспортну мережу, яка складається з двох основних елементів – мережевих вузлів (МВ) і об'єднуючих їх ліній передачі. Історично склалася так, що обладнання МВ розташовується в тих же будівлях, де встановлюється комутаційне обладнання ТМЗК. З цієї причини кількість МВ в даній моделі така сама, як і кількість МС.

На рис. 3. показана кільцева структура транспортної мережі, але це не єдино можливе рішення. Мережа з такою топологією відрізняється оперативністю і високою продуктивністю передачі повідомлень, але може використовуватися для невеликої кількості вузлів..

В даній моделі передбачається, що МВ були побудовані на базі цифрових кросових вузлів (ЦКВ). Важлива особливість ЦКВ – можливість оперативного встановлення напівпостійних з'єднань для того, щоб всім комутованим мережам були надані необхідні ресурси для обміну інформацією. ЦКВ дозволяють формувати комутовані мережі будь-якої структури. Лівий фрагмент рис. 3 показує структуру МТМ, в якій всі МС зв'язані між собою за принципом "кожен з кожним". Гіпотетична мережа ПД –містить три ЦКП, які утворюють структуру типу "зірка".



Рис. 4. Загальна структура мережі зв'язку .

### 3. Принципи побудови міської телефонної мережі

**Міська телефонна мережа (МТМ)** – це сукупність станційних та лінійних споруд, а також кінцевих абонентських пристроїв (телефонних апаратів), що призначена для забезпечення телефонним зв'язком абонентів міста. До основних станційних споруд МТМ належать: комутаційне обладнання автоматичних телефонних станцій (АТС), підстанції (ПС), установчо-виробничих АТС (УВАТС) та різноманітних вузлів автоматичної комутації, а також обладнання електроживлення та систем передачі, що встановлюються на цих станціях.

До складу лінійних споруд входять лінійні кабелі, телефонна каналізація, розподільчі шафи та коробки, проводки в абонентських пунктах та ін. На МТМ є абонентські лінії (АЛ), за допомогою яких телефонні апарати підключаються до АТС, кожному телефонному апарату МТМ присвоєний відповідний абонентський номер. Сукупність номерів всіх абонентів міста називають **нумерацією** МТМ.

При визначенні нумерації будемо вважати “0” найбільшою цифрою, так як при її наборі на АТС приймається найбільша кількість імпульсів – 10. Наприклад, в групі з 10 абонентів маємо нумерацію 1 – 0 (один, два, три... нуль), нумерація сотенної групи – 11 – 00 (одинадцять, дванадцять,... 00), тисячної – 111 – 000 (111, 112...009, 000) і ті.

**Значність** нумерації МТМ, що являє собою кількість цифр в номері, залежить від загальної ємності МТМ. Ємність – можлива кількість абонентських номерів. Якщо, наприклад, загальна ємність МТМ не перевищує 10 тис. номерів, то кожен номер може містити цифри тисяч Т, сотень С, десятків Д та одиниць О., тобто нумерація буде чотирьохзначною. Структуру чотирьохзначного номера позначають ТСДО.

Крім звичайних абонентських номерів, на МТМ використовують скорочені ( трьохзначні) номери, що присвоєні різноманітним спецслужбам. Номери всіх спецслужб починаються з цифри “1” (101, 102...), тому “1” не може бути першою цифрою абонентського номера. Абонентські номери не

можуть починатися також з цифри 0, яка є індексом виходу на автоматичну міжміську телефонну станцію (АМТС). З урахуванням цього при чотирьохзначній нумерації ємність МТМ фактично не може перевищувати 8000 номерів, при п'ятизначній нумерації максимальна ємність МТМ дорівнює 80 000.

Для здійснення з'єднань в межах МТМ встановлюється місцева нумерація, яка може бути 5-, 6- та 7- значною.

Оскільки основною одиницею ємності МТМ є десятитисячна АТС, то місцевий абонентський номер утворюється з 4-значного номера, якийзначається в межах десятитисячної групи, з додаванням перед цим номером станційного коду, що складається з однієї, двох або трьох цифр, що визначають номер десятитисячної групи, в яку ввімкнено лінію абонента.

При наявності на МТМ установчо-виробничих телефонних мереж, всі або частина абонентів якої повинні мати право виходу на мережу загального користування, із складу нумерації найближчої РАТС (таку РАТС називають “опорною”) виділяється група номерів, кратна 100. Кожному абоненту, крім внутрішнього номера, 2- або 3-значного, присвоюється номер МТМ з кількістю знаків, що прийнята на даній мережі.

### **3.1. Принципи районування.**

Розрізняють районувану і нерайоновану мережу. Розглянемо приклад нерайонованої мережі.

На нерайонованій МТМ використовується тільки одна міська АТС (МАТС), що обслуговує всіх абонентів міста (при ємності до 5 – 6 тис. абонентів).

**Підстанцією** називають обладнання, “винесене” з міської АТС і розташоване у безпосередній близькості від достатньо компактної групи абонентських пунктів. Застосування ПС дозволяє скоротити витрати на АЛ за рахунок зменшення їх довжини. Підстанція зв'язана з МАТС трьома пучками ЗЛ односторонньої дії: один пучок використовується для місцевого вихідного зв'язку від ПС на МАТС, другий - для місцевого вхідного зв'язку, третій пучок

- для міжміського зв'язку. Всі види з'єднань абонентів ПС здійснюються через МАТС, тому в тракті взаємного зв'язку абонентів ПС беруть участь дві ЗЛ: вихідна і вхідна.

**Установчо-виробнича АТС(УВАТС)** обслуговує абонентів установи чи підприємства: вона зв'язана з МАТС трьома пучками ЗЛ. Для встановлення з'єднання з абонентом МАТС абонент УВАТС повинен набрати індекс зовнішнього зв'язку (як правило цифру 9), а потім повний абонентський номер. Взаємний зв'язок абонентів УВАТС здійснюється без заняття ЗЛ, набором скороченого номера, що містить декілька останніх цифр повного абонентського номера абонента, який викликається. Зв'язок АМТС з МАТС здійснюється по замовно-з'єднувальним лініям (ЗЗЛ) та міжміським з'єднувальним лініям (ЗЛМ).

Районована МТМ містить декілька районних АТС (РАТС) при максимальній ємності 50 - 60 тис. абонентів.

Розрізняють 4 основних способи побудови комутованих телефонних мереж без обхідних напрямків: повнозв'язний ("кожна з кожною"), радіальний, радіально-вузловий, комбінований.

**Повнозв'язний** – застосовується в тих випадках, коли інтенсивність навантажень між станціями має такі значення, при яких забезпечується достатньо високе використання каналів; має високу структурну надійність, що дає можливість при порушенні зв'язку між двома станціями не порушувати роботу всієї мережі. За таким способом будуються міські телефонні мережі середньої ємності.

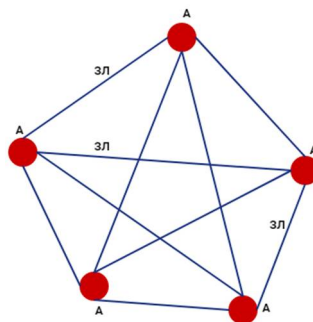


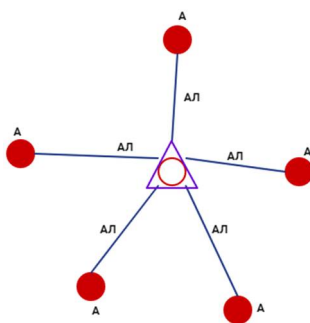
Рис.5. Топологія мережі "кожний з кожним".

А – абонентський пристрій; ЗЛ – з'єднувальна лінія.



Мережа надійна, відрізняється оперативністю і високою якістю передачі інформації. На практиці застосовується при невеликій кількості вузлів;

При **радіальній** побудові мережі має місце вузол, і тільки через нього можуть з'єднуватися будь-які дві станції. Недоліки: велика довжина каналів між територіально близько розташованими станціями і низька структурна надійність, тому що при виході з ладу вузла порушується зв'язність мережі. Використовується при обмеженому числі абонентних пунктів, розташованих на невеликій території: застосовується при побудові сільських і внутрішньозонових телефонних мереж.



А – абонентський пристрій; АЛ – абонентська лінія.

Рис. 6. Топологія мережі "зірка".

**Радіально-вузловий** спосіб усуває недоліки радіального. При такому способі будуються комутаційні вузли декількох класів і вводиться деяка ієрархія між вузлами, тобто визначається їх взаємопідлеглість при встановленні з'єднання. Таку структуру мають міські телефонні мережі, якщо ємність мережі не перевищує 80...90 тисяч абонентів;

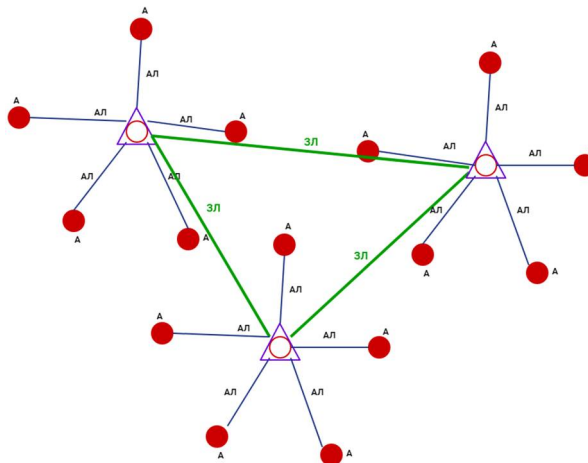


Рис. 7. Радіально-вузлова топологія мережі.

**Комбінований** спосіб використовується при побудові міжміської телефонної мережі, коли вузли першого класу об'єднуються між собою по принципу “кожен з кожним”, являючи собою центри радіально-вузлової побудови.

Із зростанням ємності телефонної мережі збільшується число РАТС, а інтенсивність навантаження між ними зменшується. Одним з методів підвищення пропускної здатності міжстанційних ЗЛ на районованій мережі є утворення вузлових станцій.

Вузлова станція - це сукупність комутаційних пристроїв, до входів та виходів яких підключені ЗЛ до кінцевих станцій, і за допомогою яких навантаження, що надходить з різних напрямків на входи вузла, розподіляється по іншим напрямкам, які ввімкнені у виходи вузла. Вузлова станція не має власних абонентів і, як правило, розміщується в одній будівлі з однією із кінцевих станцій. Вузол вихідного повідомлення ВВихП об'єднує вихідне навантаження від групи близько розташованих станцій і розподіляє його по напрямках до інших РАТС чи груп РАТС.

Вузол вхідного повідомлення ВВП об'єднує вхідне до групи близько розташованих станцій навантаження і розподіляє його по напрямках до цих станцій. При цьому зв'язок всередині групи РАТС, що розглядається, може здійснюватись по принципу “кожна з кожною” або через свій вузол.

Використовується при побудові телефонних мереж великих міст при використанні класичних АТС. Мережа має три рівні вузлових пунктів: районні, обласні і головні.

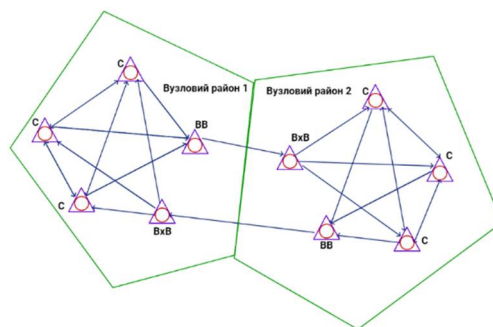


Рис. 8. Топологія радіально-вузлової мережі з вузловими районами.

ВВ- вихідний вузол, ВхВ – вхідний вузол

#### 4. Організація телефонних мереж сільських районів. Структура СТМ

Телефонні мережі сільських адміністративних районів будуються в межах адміністративних районів для всіх населених пунктів району з центром у райцентрі. У райцентрі телефонна мережа будується аналогічно до МТМ. У невеликих РЦ зазвичай є тільки одна АТС, яка носить назву центральної станції (ЦС). В інших населених пунктах (селах, хуторах тощо) зазвичай є кінцеві АТС (КС) невеликої ємності 50...1000 номерів. Через великі відстані поміж станціями сіл (кінцевих станцій) вони зв'язуються поміж собою через ЦС.

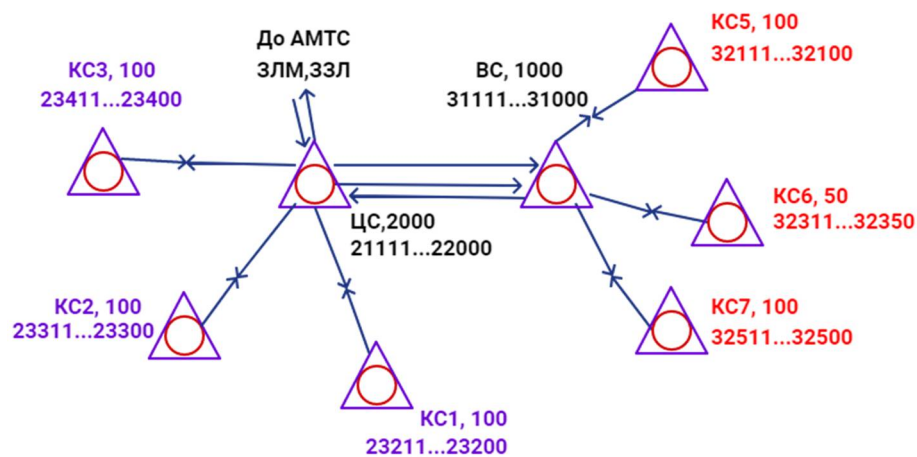


Рисунок 9. Побудова СТМ

Якщо райцентр – велике місто, в якому є власна міська телефонна мережа з власними РАТС, то для зв'язку з кінцевими станціями використовується вузол сільсько-приміський (ВСП). Міжміський зв'язок абонентів СР організовується через ЦС, яка виконує функції вузла з'єднувальних ліній міжміських та вузла замовно-з'єднувальних ліній. До кінцевих АТС міжміські зв'язки організовуються в тих самих пучках, що й місцевий зв'язок.

Оскільки КС мають невеликі ємності, то пучки ЗЛ зазвичай є двобічними, тобто одним пучком організовується зв'язок від КС до ЦС та навпаки (рис. 9).

Телефонна мережа СР будується за радіально-вузловим принципом. Тому на мережі окрім ЦС та КС, є й вузлові станції (ВС). Поміж ВС та ЦС

з організовуються три пучки ЗЛ: два – для місцевого зв'язку й один – для вхідного міжміського зв'язку.

#### **4.1. Нумерація абонентських ліній на ТМ СР**

1. *Закрита нумерація.* На всій телефонній мережі використовується єдина п'ятизнакова нумерація й абоненти, як в місті, всі використовують для виклику п'ятизначні номери. Використовується, якщо у всіх АТС є можливість приймати п'ятизначні номери. Тобто на мережі відсутні станції АТСК-50/200.

2. *Відкрита нумерація з індексом виходу до ЦС.* На КС використовується тризначна нумерація для зв'язку в межах КС. Використовуються останні три цифри п'ятизначного номера. Для виклику абонента сусідньої АТС спочатку набирається індекс виходу на ЦС (0 чи 9), а потім – **п'ятизначний номер абонента**. Використовується для мереж великої ємності (понад 8 тисяч номерів).

3. *Відкрита нумерація без індексу виходу на ЦС.* В межах КС використовується тризначна нумерація. Для виходу до абонентів інших АТС набирається повний п'ятизначний номер. При цьому у всіх абонентів мережі перша цифра п'ятизначного номера є однаковою, наприклад 9. Треті цифри тризначного номера не повинні збігатися з цією цифрою.

#### **5. Принципи побудови зонних телефонних мереж**

Зонова телефонна мережа складається з місцевих телефонних мереж (міської і сільської), розміщених на території зони і внутрішньозонової телефонної мережі. Уся територія України, як і будь-якої іншої країни, розділена на зони телефонної нумерації. Зона нумерації - це частина території країни, на якій всі абоненти телефонної мережі охоплені єдиною семизначною нумерацією. Зона охоплює територію адміністративної області або адміністративно виділеного міста (Севастополь). Максимальна ємність місцевих телефонних мереж на території зони не повинна перевищувати 8 млн.

номерів з обліком її безперешкодного розвитку на період не менше 50 років. На території області може бути організовано кілька зон, якщо це економічно виправдано. У зоні може бути встановлено якась кількість АМТС, розміщених в одному або декількох містах зони. На Україні організовано 26 зон телефонної нумерації (25 областей та Севастополь).

Внутрішньозонова мережа являє собою сукупність АМТС, що одночасно входять і в міжміську мережу – замовно-з'єднувальних (ЗЗЛ) і з'єднувальних міжміських (ЗМЛ) ліній. ЗЗЛ використовується для вихідного, а ЗМЛ - для вхідного міжміського зв'язку. Внутрішньозонова телефонна мережа забезпечує з'єднання між собою станцій і вузлів різних місцевих мереж однієї зони і вихід їх на міжміську мережу.

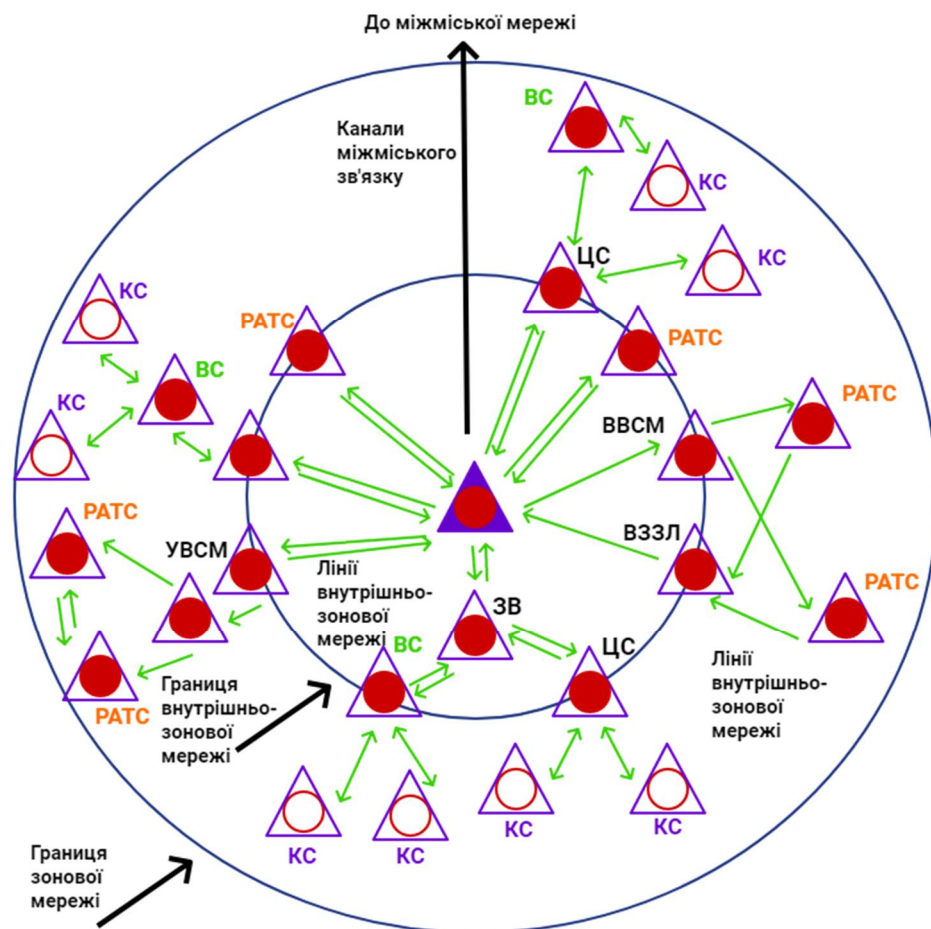


Рис.10 – Принципи побудови зонової мережі

Для внутрішньозонового встановлення з'єднання поміж абонентами різних місцевих мереж однієї зони абонент, котрий викликає, набирає **9 цифр**: 8-2ab-xxxxx, де цифра 2 – спрямовуючий індекс внутрішньозонового зв'язку.

## 6. Принципи побудови міжміських телефонних мереж

Чотирирівнева структура міжміської телефонної мережі СРСР з центром у м. Москві на даний час видозмінилася. На Україні здійснено перехід на дворівневу структуру з центром у м. Києві (рис. 11) з використанням кінцево-транзитних станцій (КТС): КТС-1 (м. Київ) та КТС-2 (м. Одеса, м. Львів, м. Дніпропетровськ, м. Харків, м. Хмельницький).

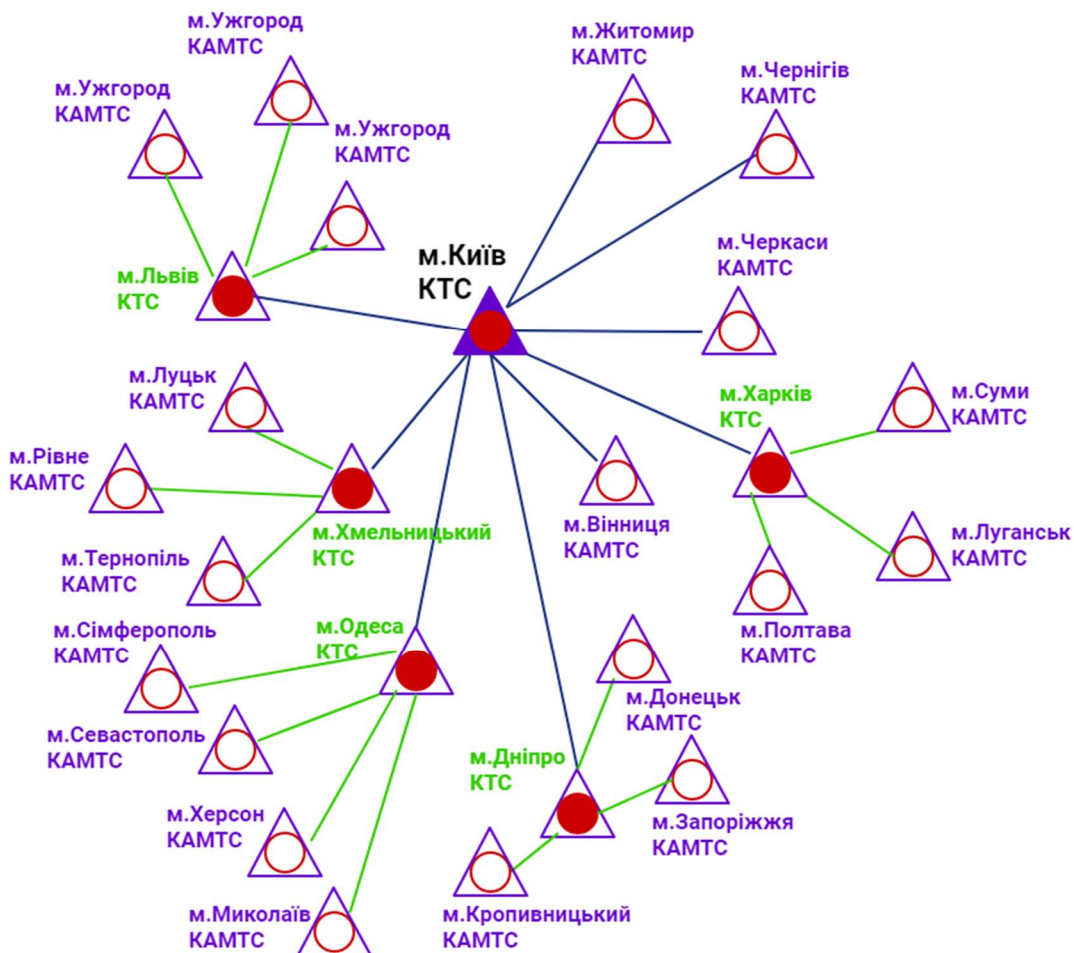


Рис. 11 – Структура міжміської мережі України

В інших обласних центрах встановлено устаткування кінцевих автоматичних міжміських телефонних станцій (КАМТС). У м. Севастополі використовується самостійна КАМТС типу EWSD. З метою збільшення структурної надійності (живучості) міжміської мережі рекомендується організація виходу однієї КАМТС на дві чи більш КТС. Приміром, КАМТС, увімкнені до КТС-2 м. Одеси, можуть мати зв'язок з КТС-2 м. Дніпропетровська та м. Львова.

З 1993 року в Україні розпочате створення цілком цифрової міжміської мережі на базі сучасних цифрових електронних систем комутації (ЦСК) типу 5ESS і EWSD. Такі ЦСК уже працюють як АМТС практично у всіх великих містах України.

В перехідний період до цілком цифрових мереж в Україні будуть діяти паралельно дві міжміських мережі: аналогова і цифрова. Зв'язок між ними організовано по лініях спільної роботи між аналоговою і цифровою АМТС обласного центра.

Як показали розрахунки, на національній цифровій мережі України доцільно замість виділених ВАК використовувати опорно – транзитні станції (ОТС) для пропуску транзитного навантаження. Цифрова міжміська телефонна мережа створюється також по ієрархічному принципі і має три рівні ієрархії: АМТС - ОТС II класу - ОТС I класу. У Києві створена ОТС першого класу, ОТС другого класу планується створити в м. Харкові, Дніпропетровську й у містах прямих зв'язків, що мають велику кількість каналів з АМТС, як України, так і ближнього і далекого зарубіжжя (Львів, Одеса).

## **7. Нумерація на міжміській і зонової телефонних мережах**

Кожній зоні телефонної нумерації привласнений свій код, що названий міжміським кодом або кодом зони. На території колишнього СРСР коди зон - тризначні і позначаються АВС, при цьому в Україні в якості А використовувалася цифра 0. Після того, як Україна стала незалежною державою тризначні коди зон на її території стали не потрібні, тому що на Україні всього 26 зон нумерації, тому вирішено першу цифру коду (0) вилучити зробивши коди зон двозначними і залишивши для них позначення вузлового району (ВР). Місцеві мережі на території зони теж мають свої внутрішньозонові коди. Ці коди – двозначні, тому що кількість місцевих

мереж на території зони ніколи не перевищує декількох десятків. Позначаються вони малими буквами - *ab*.

У такий спосіб повний номер, що набирається абонентом при міжміському зв'язку має вигляд: 0 - ВР - *ab* - *xxxxx*. Перша цифра - 0 – індекс виходу на АМТС, ВР - код зони, що визначає адміністративну область, у якій знаходиться абонент, і *ab* - внутрішньозоновий код, що визначає сільський адміністративний район, невелике місто з п'ятизначною нумерацією або вузловий район великого міста із шестизначною нумерацією.

Україні, вже після того як був складений план міжнародної нумерації, був виділений один з резервних міжнародних кодів 380. У такий спосіб повний міжнародний номер при виклику абонента України з-за кордону буде 12-значним (380-*bc-ab xxxxx*), що на одиницю більше ніж рекомендовано. Але в зв'язку з тим, що в більшості міжнародних вузлів комутації уже встановлене устаткування з програмним керуванням, вимоги до значності нумерації при різних видах зв'язку пом'якшено і сформована ситуація не обмежує можливості міжнародного зв'язку з абонентами України.

Нумерування на будь-якій місцевій мережі може мати 5, 6 чи 7 знаків залежно від ємності мережі. Мережу України розбита на зони нумерації. У межах однієї зони, а це зазвичай одна область, хоча в деяких областях є по дві зони. У межах однієї зони нумерація є семизначна – *ab-xxxxxx*.

## **8 .Структура і принципи побудови міжнародної мережі зв'язку**

Міжнародна телефонна мережа призначена для забезпечення зв'язку між абонентами різних національних мереж. Національну мережу в межах своєї країни називають міжміською мережею.

Всесвітня, глобальна телефонна мережа зв'язку побудована по ієрархічному принципу на базі міжнародних центрів автоматичної комутації трьох класів: СТ1, СТ2 і СТ3. Кожний з цих центрів є кінцевою міжнародною станцією, а СТ1 і СТ2 є ще і транзитними вузлами. Уся територія земної кулі



розділена на вісім зон комутації або вісім телефонних континентів. У центрі телефонного навантаження кожного з них знаходиться міжнародний транзитний центр комутації першого класу, названий СТ1. Усі СТ1 з'єднані між собою повнозв'язним способом ("кожний з кожним"). У середині телефонного континенту організуються вузли другого, більш низького рівня ієрархії - СТ2. Зона дії СТ2 - одна країна або кілька невеликих країн. У великих по території країнах може бути організовано декілька СТ2. В даний час Київський СТ2 обслуговує міжнародний зв'язок України. На наступному рівні ієрархії організуються центри комутації третього класу - СТ3. Зона дії СТ3 - одна невелика країна. На території великих країн міжнародні вузли третього класу не організуються.

Міжнародна мережа побудована комбінованим способом, при якому вузли найвищого класу ієрархії, з'єднані повнозв'язним способом, є одночасно центрами радіально-вузлової побудови нижніх рівнів мережі. Однак існуюча міжнародна телефонна мережа, як і більшість реальних мереж електрозв'язку, не може бути побудована в строгій відповідності з якоюсь визначеною структурою. Реально, при наявності великого тяжіння, між двома СТ будь-якого класу організуються прямі зв'язки. Кожному телефонному континенту привласнений однозначний код. Код країни в межах телефонного континенту може бути одно-, дво- і трьохзначним. Першою його цифрою завжди є однозначний код телефонного континенту. Значність (кількість цифр) коду країни залежить від значності її національної нумерації, тобто від кількості цифр, що набираються абонентом при зв'язку в межах своєї країни.

Так, наприклад, у США 10-значна нумерація - код країни однозначний (7), у Польщі - дев'ятизначна і код країни двозначний (48), в Алжиру нумерація восьмизначна, код країни - трізначний (213). Найчастіше двозначний код країни збігається з розміщенням у ній міжнародного вузла СТ2, а трізначний - вузла СТ3, хоча це і не обов'язково.

Україні виділений код 380, що відноситься до телефонного континенту Західної Європи.