

# Комутаційне поле цифрових СК

## Комутаційне поле

**У комутаційних полях цифрових АТС можуть використовуватися:**

- тільки просторова комутація,
- тільки часова комутація,
- комутація виду «простір-час»,
- комутація виду «час-простір»,
- комутація виду «простір-час-простір»,
- комутація виду «час-простір-час»,
- більш складні комбінації просторової і часової комутації.

# Просторова комутація

Пристрої просторової комутації використовувалися ще в декадно-крокових і координатних АТС до появи цифрової комутації. Просторова комутація була основою побудови комутаційних квазіелектронних АТС першого покоління.

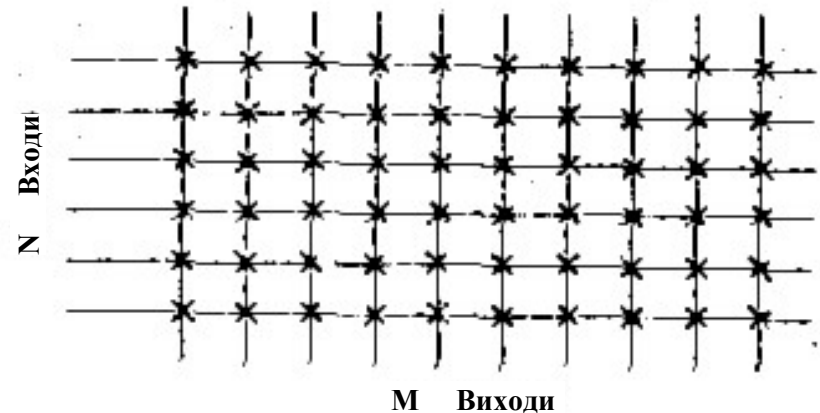
**Просторові S-комутатори** (space - простір) створюють в комутаційному полі електричний з'єднувальний шлях, який підтримується протягом усього часу існування з'єднання. При цьому забезпечується фізичне з'єднання входу комутаційного поля з його виходом.

Цифрова просторова комутація дає можливість з'єднувати входи з виходами тільки в тих випадках, коли номер часового інтервалу, відведеного входу, збігається з номером часового інтервалу, відведеного виходу. У зв'язку з цим комутаційні поля, побудовані тільки з просторових комутаторів, в цифрових АТС практично не застосовуються.

Схематично найпростішу комутаційну структуру можна представити у вигляді прямокутної решітки, складеної з точок комутації. Ця комутаційна схема може бути використана для з'єднання будь-якого з  $N$  входів з будь-яким з  $M$  виходів. Якщо до входів і виходів під'єднані двопровідні кола, то на кожне з'єднання потрібно тільки одна точка комутації.

Прямокутні гратчасті структури, складені з крапок комутації, проектуються таким чином, щоб забезпечувати тільки **з'єднання від групи входів до групи виходів**. Такий спосіб роботи може знайти застосування в ряді випадків, зокрема:

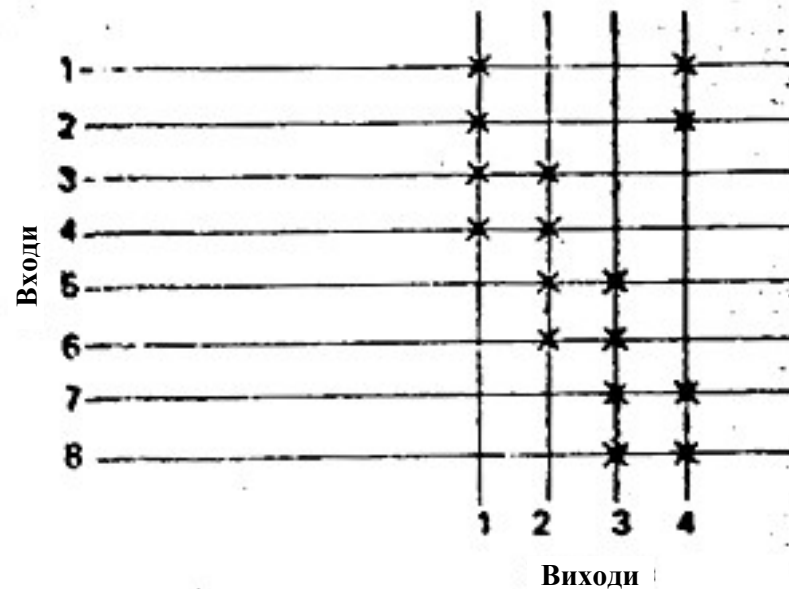
- 1) на віддалених концентраторах;
- 2) на розподільниках викликів;
- 3) на кінцевих станціях або при встановленні транзитних з'єднань;
- 4) на окремих ланках багатоланкових комутаційних схем.



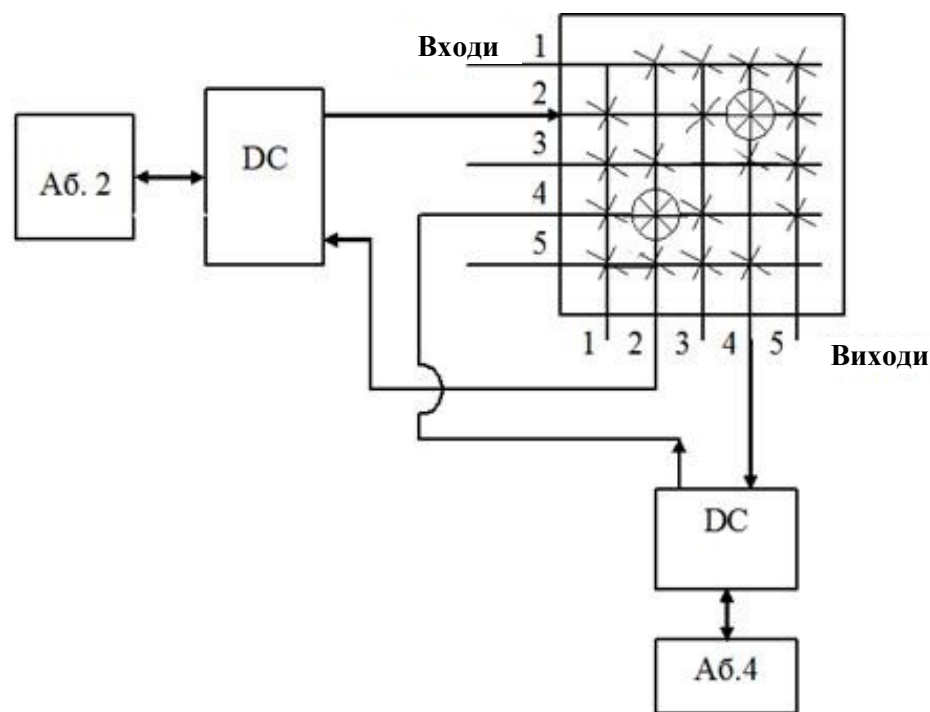
У більшості випадків вимога забезпечення можливості встановлення з'єднання будь-якого входу з будь-яким виходом не є обов'язковим. Так, у разі, коли число виходів в групі досить велика, можна забезпечити кожному входу доступ не до всіх, а лише до обмеженої кількості виходів. У таких випадках говорять про **"обмежену доступність"**.

Перехід до схем з обмеженою доступністю дозволяє отримати значну економію точок комутації. Для побудови схем підключення групи виходів, доступних різним групам входів, розроблений метод, який отримав назву **"неповнодоступного включення"**.

Якщо з'єднання входів з виходами здійснюється продумано, то негативний ефект обмеженої доступності мінімізується.



Комутаційні схеми з неповнодоступним включенням виходів часто використовуються **для організації доступу до великих пучків сполучних ліній** на електромеханічних станціях, де вартість точки комутації досить висока і розміри окремих комутаційних модулів обмежені. Неповнодоступне включення використовується також **на окремих ланках комутації багатоланкових комутаційних схем великої ємності**, де існує більше одного шляху до будь-якому заданому виходу.

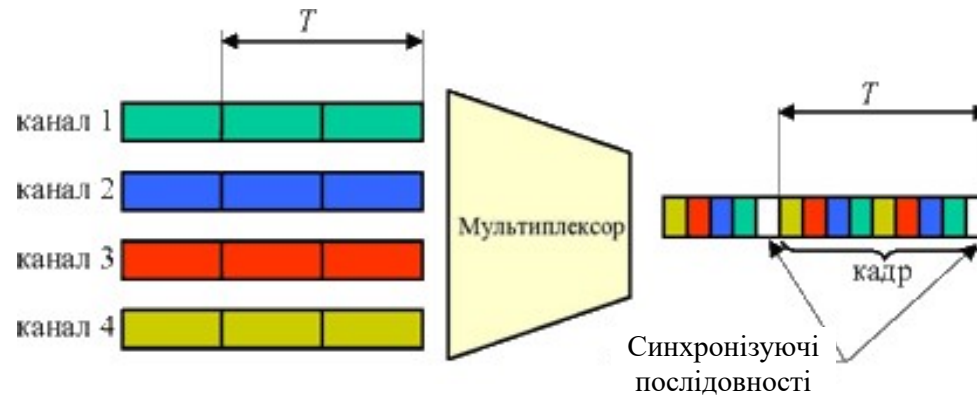


Комутаційні системи для чотирьох-провідних кіл вимагають встановлення роздільних з'єднань - для прямої і зворотної гілки кола передачі. Таким чином, при обслуговуванні кожного виклику необхідно встановлювати два різних з'єднання.

## Часова комутація

**Часові T-комутатори** (*time - час*) підтримують віртуальне з'єднання, яке існує тільки протягом певних часових інтервалів.

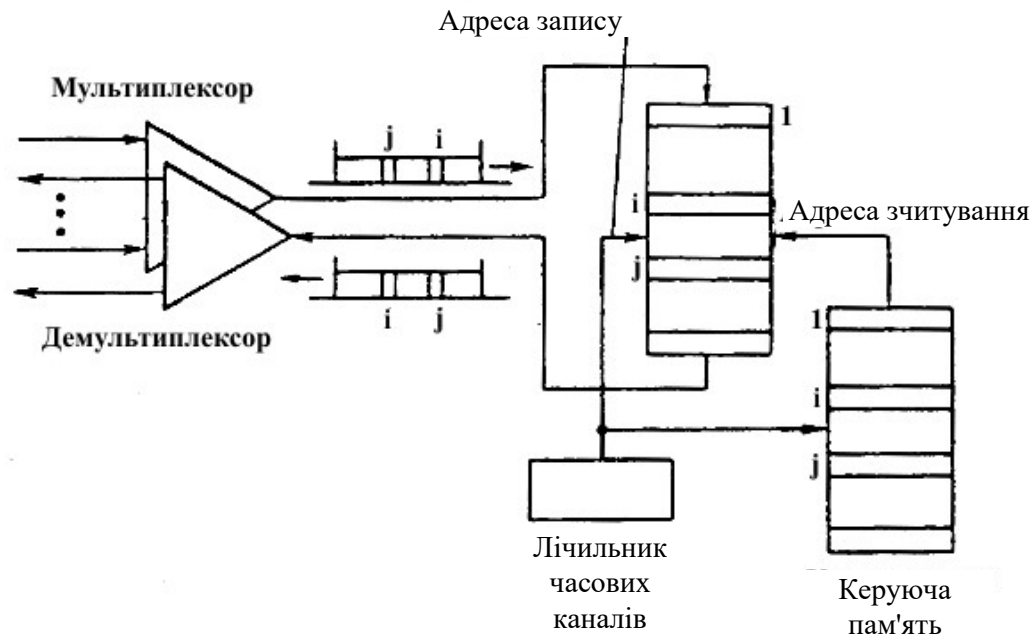
Концептуально часова комутація може розглядатися як система пам'яті, яка призначає для різних часових інтервалів різні комірки пам'яті, у зв'язку з чим така система називається пам'яттю межінтервального обміну. Концепція програмного призначення часових інтервалів дозволяє використовувати одні і ті ж просторові точки комутації в різних інтервали для різних з'єднань.



**Так як схеми часової комутації будуються на базі недорогих цифрових запам'ятовуючих пристроїв (ЗП), реалізація функції цифрової комутації виявляється дешевшою, ніж реалізація схем з просторовим розділенням.**

Робота схеми часової комутації зводиться, головним чином, до запису інформації і зчитування її з ЗП. У процесі комутації інформація, яка надходить по одному часовому каналу, передається до іншого. Якщо цифрові сигнали групуються в єдині формати слів, то вдається отримувати вельми економічні комутаційні схеми, що реалізують тільки часову комутацію. Однак реальні обмеження на часові характеристики ЗП визначають допустимі розміри блоку часової комутації, тому **в комутаційних схемах великої ємності обов'язково вводиться просторова комутація.**





Окремі кола, за якими йде передача цифрових повідомлень, деяким фіксованим чином об'єднуються так, що утворюється один тракт з часовим поділом каналів.

Функції об'єднання і поділу можна розглядати або як функції самої схеми комутації, або як функції, що реалізуються в віддалених терміналах.

Якщо, функції об'єднання і поділу реалізуються локально, то **мультиплексор і демультимплексор можуть паралельно підключатися безпосередньо до ЗП**. В іншому випадку використовується **перетворювач послідовного коду в паралельний**, який дозволяє попередньо накопичити інформацію певного часового каналу до того, як вона буде записана в ЗП.

**У будь-якому випадку для кожного вхідного часового каналу необхідно забезпечити доступ до каналу запису в ЗП, і точно так само необхідно забезпечити доступ до каналу зчитування для кожного вихідного часового каналу.**

Обмін інформацією між двома різними часовими каналами здійснюється за допомогою ЗП часової комутації каналів. У показаній схемі інформація, яка надходить по вхідних часових каналах, послідовно записується в комірки ЗП. У той же час інформація, що надходить в вихідні канали, зчитується з ЗП за адресами, які добувають з блоку керуючої пам'яті. Дуплексне з'єднання каналів  $i$  і  $j$  трактів з часовим поділом каналів означає, що адреса  $i$  надходить в ЗП протягом  $i$ -го часового інтервалу, і навпаки, як зазначається у відповідній керуючій пам'яті.

Таким чином, **протягом кожного часового інтервалу до ЗП виробляються два звернення**. Перше, коли деякий керуючий пристрій вибере стандартний номер часового каналу, який визначає адресу запису в ЗП. Друге, коли вміст керуючої пам'яті, відповідний певному часовому каналу, вибирається в якості адреси зчитування.

Оскільки операції запису і зчитування повинні виконуватися в ЗП для кожного часового каналу (вхідного або вихідного), **максимальне число каналів, які можуть бути обслужені простою комутаційною схемою на ЗУ**, дорівнює

$$Q_c = T / 2t$$

де  $T$  - тривалість циклу. Для частоти дискретизації мовного сигналу, що дорівнює 8 кГц,  $T = 1/8000 = 125$  мкс.

$t$  - тривалість циклу (звернення) до ЗП.

### Приклад

Нехай цикл ЗУ становить 500 нс. Тоді з рівняння випливає, що

$$Q_c = 125 \cdot 10^{-6} / (500 \cdot 10^{-9} \cdot 2) = 125.$$

Отже дана комутаційна схема на ЗП може обслужити 125 дуплексних каналів (62 з'єднання) за умови строгої неблокованості схеми. Складність комутаційної схеми зовсім невелика, ЗП зберігає один інформаційний цикл, організований як  $Q_c$  слів по 8 бітів кожне.

Керуюча пам'ять також має обсяг  $c$  слів, причому довжина кожного слова дорівнює  $\log(Qc)$ , що для розглянутого прикладу дорівнює 7. Таким чином, обидві функції пам'яті можуть бути реалізовані на базі ЗП з довільною вибіркою ємністю  $128 \times 8$  бітів. **Доповнююча частина у вигляді лічильника часових каналів і деяких логічних пристроїв, щоб вибрати адреси і управління записом нової інформації в керуючу пам'ять**, може бути реалізована на базі звичайних інтегральних схем (ІС).

Розглянута комутаційна схема контрастує зі схемою з просторовим розділенням каналів, яка потребувала б **7680 точок комутації** при реалізації її в вигляді триланкової комутаційної схеми за умови строгої неблокованості схеми. Хоча сучасна технологія виготовлення інтегральних мікросхем дозволила б замінити багато точок цифрової комутації інтегральними схемами, проте обмеження на допустиму кількість виводів з кристала подолати не вдалося б.

Одна з основних переваг цифрових сигналів полягає в легкості, з якою їх можна об'єднувати на базі часового поділу. Ця їх властивість важлива як при організації з'єднань між ІС, так і при організації зв'язку між комутаційними станціями.

**Якщо комбінацію «мультиплексор і демюльтиплексор» використовувати для концентрації і розширення, то система може обслуговувати значно більшу кількість вхідних ліній в залежності від середнього використання окремих кіл.**

Наприклад, якщо лінія в середньому зайнята протягом 10% часу, то система **«концентратор -комутаційна схема на ЗП - експандер»** може обслужити до 1000 кіл з ймовірністю блокування, меншою 0,002. Введення концентрації і розширення разом з тим означають значне ускладнення системи. По суті, обладнання, що реалізує ці операції, є схеми комутації з просторовим розділенням, які управляються відповідним чином. Структура **«концентратор - схема комутації на ЗУ - експандер»**, по суті, стає простою формою комутаційної схеми типу простір-час-простір.

**Для того, щоб забезпечити бажану часову комутацію каналів, ланки часової комутації вимагають наявності деякого виду елементів затримки.** Затримки найлегше реалізувати за допомогою ЗП з довільною вибіркою, запис в які проводиться в міру надходження даних, а зчитування при необхідності їх передачі.

## Є два способи управління роботою ЗП ланки часової комутації:

- послідовний запис і довільне зчитування,
- довільний запис і послідовне зчитування.

Відповідно до **першого способу роботи ланки часової комутації** певні комірки пам'яті закріплюються за відповідними каналами вхідного тракту. Інформація кожного вхідного часового інтервалу запам'ятовується в послідовних комірках пам'яті, що забезпечується збільшенням на 1 вмісту **лічильника по модулю Qc** на кожному часовому інтервалі (інформація, прийнята протягом часового інтервалу **i**, автоматично запам'ятовується в **i-тій** комірці ЗП). При видачі інформації з ЗП керуюча інформація, яка надходить з керуючої пам'яті, визначає адресу зчитування інформації для заданого часового інтервалу. Слово **j** керуючої пам'яті містить число **i**, тобто вміст ЗП ланки часової комутації за адресою **i** має бути лічено і передано по вихідному тракту протягом часового інтервалу **j**.

**Другий спосіб роботи ланки часової комутації** є протилежністю першого. Інформація, що надходить на вхід, записується в комірку ЗП відповідно до адреси, що зберігається в керуючій пам'яті. Однак, зчитування інформації проводиться послідовно – комірка за коміркою під керуванням лічильника часових інтервалів (вихідних). Інформація, прийнята протягом часового інтервалу  $i$ , записується безпосередньо в ЗП за адресою  $j$ , звідки автоматично зчитується в вихідний канал з номером  $j$  тракту з часовим поділом каналів.

Обидва способи роботи ланки часової комутації визначають відповідно управління по виходу і по входу.

Обидва способи роботи ланки часової комутації використовують циклічну керуючу пам'ять, доступ до якої здійснюється синхронно з роботою лічильника часових інтервалів.

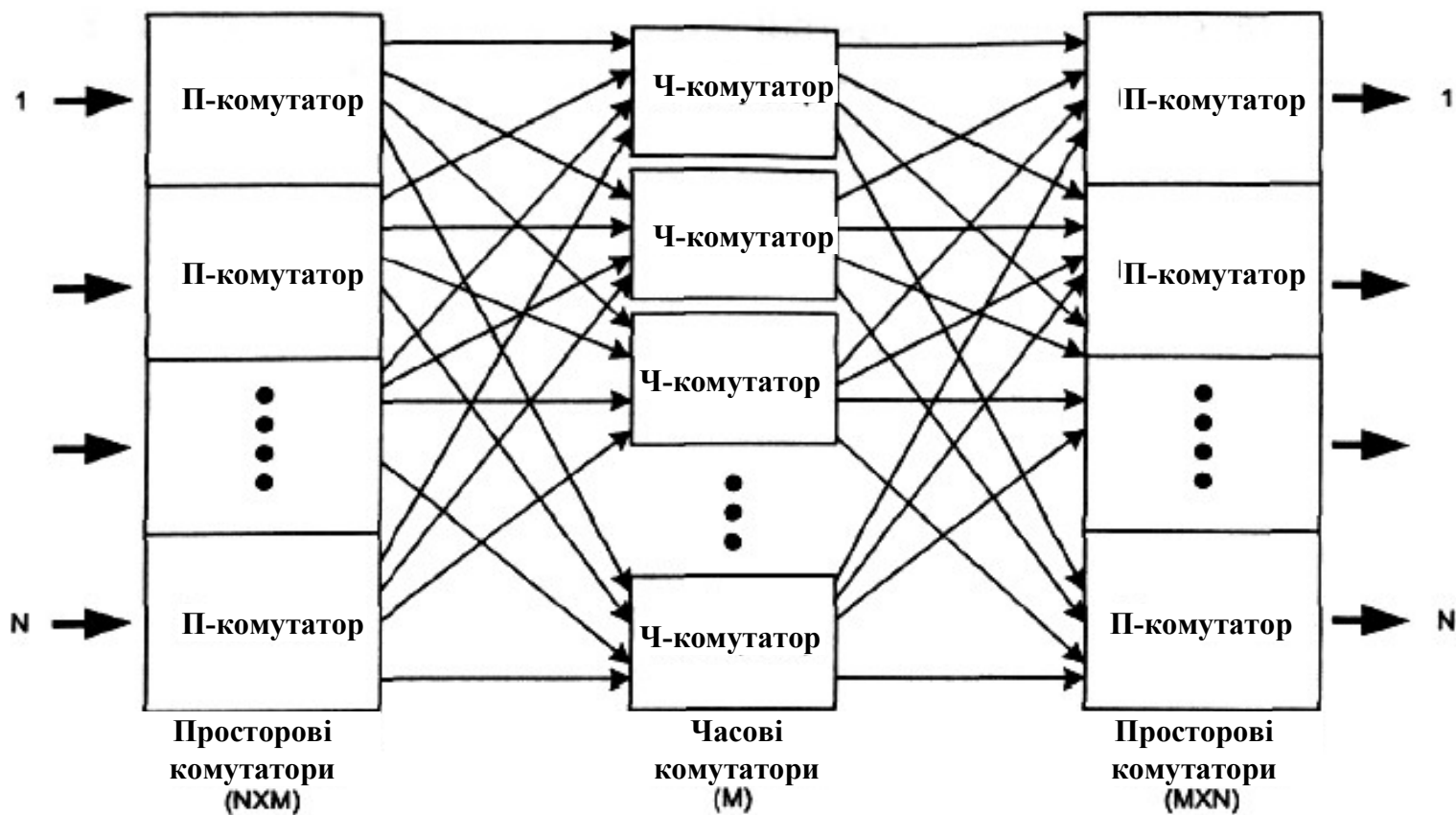
## комутація ПЧП (Простір-час-простір)

Використання одного ступеня комутації економічно ефективно лише до певного розміру цього ступеню. Те ж саме справедливо і по відношенню до однокаскадного комутаційного поля: починаючи з якоїсь ємності поля, його доводиться робити багатокаскадним.

**При побудові багатокаскадного цифрового комутаційного поля використовуються різні комбінації каскадів просторової і часової комутації.** Наприклад, перший каскад поля може будуватися з просторових комутаторів П, другий каскад - з часових комутаторів Ч, а третій, останній каскад - знову з комутаторів П.



Таке комутаційне поле, зване **ПЧП (Простір-Час-Простір)** містить по **N** комутаторів **П** в першому і в третьому каскадах і **M** комутаторів **Ч** в другому каскаді.



Встановлення з'єднувального шляху через комутаційну схему ПЧП вимагає знаходження блоку просторової комутації, в якому є доступ до каналу записи в період часового інтервалу (**вхідного**), коли може надходити інформація, а також доступ до каналу зчитування в період необхідного часового інтервалу (**вихідного**), коли буде зчитуватися інформація з пам'яті. Якщо кожна окрема ланка схеми ПЧП буде неблокованою, то вона буде функціонально еквівалентна триланковій просторовій схемі.

Відповідно **ймовірність блокування схеми ПЧП**

$$B = (1 - q'^2)^M$$

де  $q' = 1 - p' = 1 - p / \beta$ , - ймовірність того, що проміжний канал вільний,

$p$  - ймовірність того, що зайнятий вхід,

$\beta = M / N$  - коефіцієнт концентрації / розширення навантаження.

Припускаючи, що схема просторової комутації реалізується у вигляді одноланкових комутаційних блоків і що кожен тракт часового поділу каналів містить  $Q_c$  інформаційних каналів, можна визначити складність реалізації комутаційної схеми ПЧП.

**Складність** = (число точок комутації на ланці П комутації) + ((число бітів управління на ланці П комутації) + (число бітів пам'яті на ланці Ч комутації) + (число бітів управління на ланці Ч комутації)) / 100

$$C = 2 \cdot M \cdot N + (2 \cdot M \cdot Q_c \cdot \log_2 N + M \cdot Q_c \cdot 8 + M \cdot Q_c \cdot \log_2 Q_c) / 100.$$

Просторова комутаційна схема вимагає **41 000 точок комутації**, в той час як схема ПЧП лише **430 еквівалентних точок комутації**. Такий значний ефект виходить як результат того, що мовні сигнали були вже перетворені в цифрову форму і мультиплексовані. Якщо комутаційна схема ПЧП використовується в аналоговому оточенні, то переважна частина витрат буде падати на обладнання лінійного сполучення.



Інформація, що надходить по каналу вхідного тракту з часовим поділом каналів, затримується на вхідній ланці часової комутації до тих пір, поки не буде знайдений відповідний вільний шлях через ланку просторової комутації.

У цей момент інформація буде передана через ланку просторової комутації на відповідну вихідну ланку часової комутації, де вона буде зберігатися до тих пір, поки не настане часовий інтервал, в якому потрібно здійснити передачу цієї інформації. Припускаючи, що **на ланках часової комутації забезпечується повнодоступність** (всі вхідні канали можуть бути з'єднані з усіма вихідними), при встановленні з'єднання на ланці просторової комутації можна використовувати будь-який часовий інтервал.

**У функціональному сенсі ланка просторової комутації як би повторюється (копіюється) по одному разу для кожного внутрішнього часового інтервалу.**

Важливою особливістю комутаційної схеми ЧПЧ є те, що ланка просторової комутації працює з поділом часу незалежно від зовнішніх трактів з часовим поділом каналів.

**Число часових інтервалів роботи ланки просторової комутації  $l$  не повинно збігатися з числом часових інтервалів з зовнішніх трактів з часовим поділом каналів.**

Якщо ланка просторової комутації є неблокованою комутаційною схемою, то блокування в схемі ЧПЧ може виникати в тих випадках, коли немає вільних внутрішніх часових інтервалів ланки просторової комутації, протягом яких проміжна сполучна лінія, що веде від вхідної ланки часової комутації, і проміжна сполучна лінія, що веде до вихідної ланці часової комутації, одночасно вільні. Можливість блокування буде мінімальною, якщо число часових інтервалів ланки просторової комутації  $l$  буде вибрано досить великим.

**Схему ЧПЧ можна вважати неблокованою, якщо  $l = 2c - 1$ .**

Загальний вираз для **ймовірності блокування для комутаційної схеми ЧПЧ**, окремі ланки якої (Ч, П, Ч) є неблокованими, має вигляд

$$B = (1 - q_1^2)^l$$

$$q_1 = 1 - p_1 = 1 - p / \alpha,$$

$\alpha = l / c$  - коефіцієнт часового розширення

$l$  - число часових інтервалів роботи ланки просторової комутації.

**Складність реалізації ЧПЧ-комутації** можна розрахувати за такою формулою

$$C = N^2 + (N \cdot l \cdot \log_2 N + 2 \cdot N \cdot c \cdot 8 + 2 \cdot N \cdot l \cdot \log_2 c) / 100.$$

Структура ЧПЧ складніша, ніж структура ПЧП. **У комутаційній схемі ЧПЧ використовується часова концентрація, а в схемі ПЧП - просторова.** У міру того, як зростатиме використання вхідних з'єднувальних ліній, буде зменшуватися ступінь можливої концентрації.

Якщо виявиться, що навантаження вхідних каналів досить високе, то для підтримки заданого значення ймовірності блокування в комутаційних схемах ЧПЧ і ПЧП необхідно **вводити розширення відповідно в першій - часове, в другій - просторове.** Оскільки реалізація часового розширення значно дешевше, ніж просторового, то при високому використанні каналів комутаційна схема ЧПЧ виявиться більш економічною, ніж схема ПЧП.

**Комутаційні схеми ЧПЧ мають чітко виражену перевагу перед схемами ПЧП в області великих значень використання каналів.**

**Для комутаційних схем малої місткості більш кращою виявляється структура ПЧП.** Перевагою структури ПЧП є відносно більш прості вимоги до організації управління схемами ПЧП, ніж схемами ЧПЧ, але для станцій великої ємності з великим навантаженням переважно використання структури ЧПЧ.



## Модулі з'єднувальних ліній

**Станційні комплекти з'єднувальних ліній ІКМ виконують наступні функції:**

- *Електричний інтерфейс*, що фізично сполучає лінію зі станцією і забезпечує відновлення вхідного сигналу після можливих його спотворень при передачі.
- *Тактова синхронізація*, що забезпечує умови, необхідні для того, щоб станційні пристрої працювали синхронно з тактовими імпульсами лінії. Це дозволяє зчитувати одиниці і нулі у вхідному бітовому потоці з мінімальною ймовірністю помилки. Методи реалізації цієї функції різні в АТС різних типів.
- *Граничний пристрій і інтерпретація* - перетворення біполярного сигналу в однополярний: сигнал, що надходить по лінії (тобто спотворений аналоговий сигнал з перешкодами), перетворюється, через граничний пристрій, в послідовність логічних одиниць і нулів. Ця регенерація бітового потоку і забезпечує перевагу цифрової передачі і цифрової комутації над їх аналоговими прототипами.

- *Детектування тривожних сигналів* проводиться після того, як біполярний сигнал, отриманий по лінії, перетворено на однополярний. Відомості про виявлені аномальні ситуації кодуються засобами тривожної сигналізації.

### **Приклади тривожних сигналів:**

- *втрата циклової синхронізації*, в результаті чого станція не може адекватно сприймати потік;
- *відсутність імпульсів на прийомі*, тобто у вхідному потоці пропущений біт;
- *частота помилок вище порогового значення*, тобто частота виникнення помилок перевищує 0.001;
- *тривожний сигнал станційного комплекту, створюваний щоразу, коли в станційному комплекті сполучної лінії виявиться несправність і ін.*

***- Обробка сигналів управління комутацією.***

Для передачі цих сигналів з використанням двох виділених сигнальних каналів, що закріплюються за кожним з 30 телефонних каналів, в 32-канальному тракті ІКМ організовано *надцикл*.

*Кожен надцикл є впорядкованою послідовністю 16-ти циклів* (з 0-го по 15-й), повторюваних без перерви кожні 2 мс ( $125 \text{ мкс} \cdot 16$ ). У кожному надциклі 16-й канал першого циклу завжди містить кодову комбінацію 000001XS, в якій біт X дорівнює 1, якщо відправник циклу в даний момент не здатний до прийому надциклу. Біт S може використовуватися для передачі даних зі швидкістю 500 біт / с. Кодова комбінація 000001XS використовується для синхронізації надциклу, що дозволяє в кожний момент знати, який з циклів надциклу приймається.

*Сигнали передаються по загальному каналу у вигляді кадрів*, для прийому яких станційний комплект повинен бути здатний до самосинхронизації зі вхідним потоком на бітовому рівні, а щоразу при невдалому виконанні такої функції, комплект повинен сповіщати про цю подію систему управління.

Після синхронізації на бітовому рівні, станційний комплект повинен отримувати циклову синхронізацію для того, щоб бути в змозі правильно визначати початок, зміст і кінець кожного прийнятого їм кадру. Всі кадри нумеруються і містять перевірочні біти, які використовуються станційним комплектом для виявлення помилок. Нумерація кадрів служить для організації повторної передачі кадрів, прийнятих з помилкою.

*Станційний комплект загального каналу сигналізації може підтримувати функції циклової і бітової синхронізації.*

При цьому він транслює з каналу в систему управління тільки корисні повідомлення, тобто ті, які дійсно передаються по каналу сигналізації, і ті, якими обмінюються пристрої управління станцій при виконанні функцій спостереження, тестування та діагностики, щоб переконатися в правильності роботи обох взаємодіючих АТС.

Внаслідок складності функцій, які він повинен виконувати, цей комплект будується на базі одного або декількох мікропроцесорів. Крім того, деякі його функції, зокрема, ті, які пов'язані із захистом від помилок і з процедурами синхронізації, часто реалізуються на спеціальних НВІС (наприклад, HDLC-контролер).

## Управління по записаній програмі

Ранні версії електронних станцій були забезпечені оперативною пам'яттю для зберігання інформації про обслуговувані виклики і напівпостійними запам'ятовуючими пристроями, які зберігали програми управління вузлом. Ці перші електронні АТС називалися *станціями з керуванням по записаній програмі (SPC)*.

У перших SPC використовувався один процесор, який керував усіма зовнішніми пристроями і для надійності дублювався. *У сучасній цифровій АТС є декілька процесорів і застосовується розподілена архітектура програмного забезпечення та апаратних засобів.*

Реалізація функцій техобслуговування сучасного цифрового вузла комутації також сходить до ранніх станцій з SPC, які були повністю залежні від єдиного процесора, відповідального за виконання всіх функцій вузла комутації.

## **Лектор:**

Старший викладач кафедри Електроніки и комп'ютерної техніки Сумського державного університету

**Горячев О. Є.**

## **В лекції використано матеріали авторів:**

**Гольдштейн Б.С., Дузь В. І.**