

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет телекомунікацій  
Кафедра космічних систем та комплексів і супутникових телекомунікацій



# **СИГНАЛІЗАЦІЯ ТА СИНХРОНІЗАЦІЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ**

Навчальний посібник

Київ – 2019

**Кирпач Л.А., Срібна І.М., Власенко Г.М.** Сигналізація та синхронізація в телекомунікаційних системах та мережах. Навчальний посібник. - К.: ДУТ, 2019. - 85 с.

*Схвалено до друку вченою радою  
Державного університету телекомунікацій  
(протокол № від 2019 року)*

Рецензенти:

**Бондарчук Андрій Петрович**, доктор технічних наук, доцент, декан факультету Інформаційних технологій, професор кафедри Інженерії програмного забезпечення Державного університету телекомунікацій

**Сторчак Каміла Павлівна**, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри Інформаційних систем та технологій Державного університету телекомунікацій

Навчальний посібник розроблено згідно навчальної програми з дисципліни «Сигналізація та синхронізація в телекомунікаційних системах та мережах», що викладається для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» спеціальності «172 Телекомунікації та радіотехніка»

Навчальний посібник містить стисле викладення теоретичного матеріалу, необхідного для підготовки до практичних, лабораторних занять та підсумкового контролю студентів Державного університету телекомунікацій зазначеної спеціальності.

Посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання, які навчаються за спеціальностями з напрямку “Телекомунікації”, а також може бути корисний для аспірантів, викладачів навчальних закладів відповідних спеціальностей, фахівців, які обслуговують телекомунікаційні мережі зв'язку.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 СИГНАЛИ ТА ЇХ ВИДИ	
1.1 Визначення і принципи класифікації сигналів .....	3
1.2 Методи мультиплексування сигналів .....	9
1.3 Плезіохронна та синхронна цифрова ієрархія .....	10
2 СИНХРОНІЗАЦІЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ	
2.1 Процес синхронізації. Основні поняття та визначення.	
2.2 Системи синхронізації.	
2.3 Сигнали синхронізації.	
2.4 Синхронізація телефонних мереж.	
2.5 Особливості синхронізації мереж NGN.	
2.6 Методи синхронізації мереж та цифрового комутаційного обладнання	
2.7 Побудова мережі зв'язку з використанням синхронної цифрової ієрархії.	
2.8 Синхронізація цифрових систем зв'язку по супутниковим сигналам	
3 СИГНАЛІЗАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	
3.1 Системи сигналізації мереж зв'язку України	
3.2 Система сигналізації №7.	
3.3 Структура ЗКС №7 на мережах різних типів.	
3.4 Реалізація ЗКС №7 в сучасних цифрових системах.	
3.5 Сигналізація мереж NGN.	

## ВСТУП

Навчально-методичний посібник містить основні питання, які розглядаються під час вивчення дисципліни «Сигналізація та синхронізація в телекомунікаційних системах та мережах» входить до циклу дисциплін ..... і складається з двох змістовних модулів.

У першому приведені основні відомості про системи синхронізації, їх види, структуру, особливості застосування. У другому – розглядаються питання сигналізації на телекомунікаційних мережах. Описані основні протоколи для мереж NGN, інтелектуальних, стільникових мереж та мереж загального користування. Крім того, приводяться загальні відомості про сигнали та їх види.

## 1 СИГНАЛИ ТА ЇХ ВИДИ

### 1.1 Визначення і принципи класифікації сигналів

Сучасне визначення сигналу зводиться до представлення його у вигляді фізичного явища або процесу як функції часу  $s(t)$ , який містить повідомлення (інформацію) про деяку подію, стан об'єкта спостереження, команди управління і т.д. Такий підхід дозволяє використати досягнення фундаментальних наук в області методів описування різного роду процесів, у тому числі і випадкових, а також використовувати такі поняття математики, як простір, простір стану, норма (відстань) як вимір близькості функцій і т.д.

У залежності від характеру розв'язуваної задачі сигнал представляють тією чи іншою математичною моделлю.

Сигнали, як функції часу класифікують за різними ознаками:

- за функціональним призначенням: сигнали – носії інформації, вимірювальні і контрольні сигнали, сигнали синхронізації;
- за характеристиками області значень та області визначень: дискретні, цифрові;
- за можливістю чи неможливістю передбачення миттєвих значень реалізацій сигналу – випадкові і детерміновані.

#### *Детерміновані, періодичні і неперіодичні сигнали*

Сигнали розділяють на дві великі групи – детерміновані та випадкові, засновані на можливості та неможливості передбачення миттєвих значень сигналу в будь-який момент часу. Якщо значення сигналу відомі і можуть бути визначені, то такі сигнали називаються *детермінованими*. Вони можуть бути задані формулою, визначені алгоритмом, мовним описуванням і т.д.

Детерміновані сигнали, в свою чергу, розділяють на періодичні та неперіодичні. *Періодичним* називають будь-який детермінований сигнал, для якого виконується умова:

$$s(t) = s(t + kT), \quad (1.1)$$

де  $k \in Z$  - будь-яке ціле число,

$T$  – період.

Тобто миттєві значення сигналу повторюються через рівні проміжки часу, такі сигнали називають ще *ізохронними*.

Якщо умова (1.1) не виконується, то детермінований сигнал називають *неперіодичним*. На рисунку 1.1 наведено приклад періодичних послідовностей.

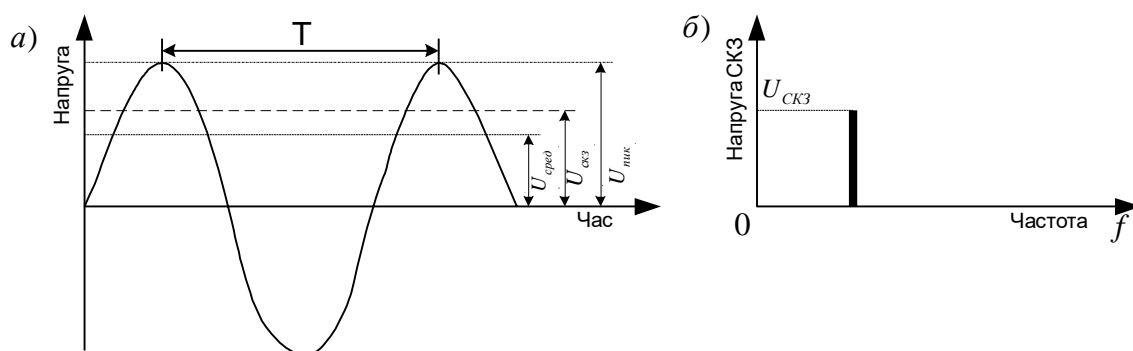


Рисунок 1.1 - Приклад детермінованого сигналу: періодичний, гармонійний (синусоїдальний) сигнал

Найпростішою формою періодичного коливання є так зване гармонійне коливання, графік якого, в залежності від часу, представляє синусоїду, з постійним періодом  $T$ , показану на рисунку 1,а.

$$s(t) = \sin(2\pi t / T) \quad (1.2)$$

Період коливання  $T$  визначає час, який пройшов між двома послідовними, абсолютно схожими одне на одне, положеннями, які називаються ще *значущими моментами*.

Сигнали, які використовуються на практиці, в основному, не є повністю гармонійними коливаннями, але багато з них можуть бути періодичними. На рисунку 1.2 зображено звичайний періодичний негармонійний сигнал, який, можна представити сумою двох гармонійних сигналів.

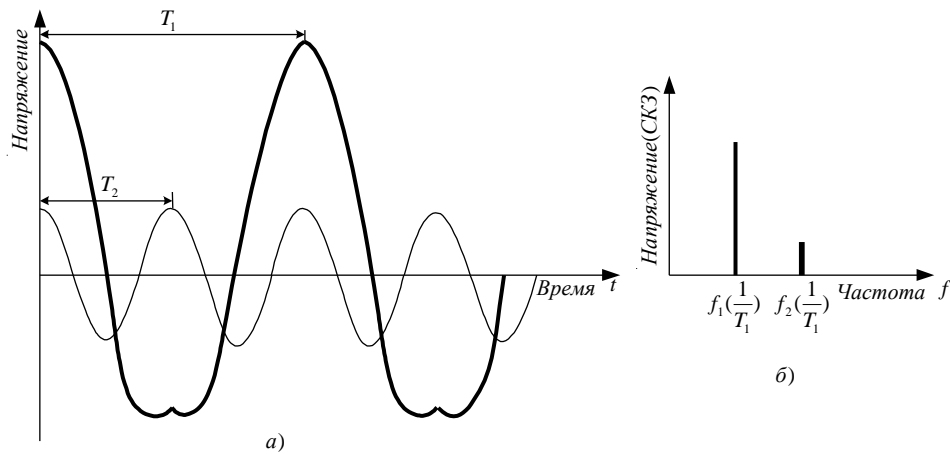


Рисунок 1.2 - Приклад детермінованого сигналу: періодичний, негармонійний сигнал.

Періодичні, циклічні явища мають фундаментальне значення в багатьох сферах людської діяльності, а саме у вимірюванні часу і синхронізації процесів. Багато природних явищ носять циклічний характер: фази Місяця та Сонця, тривалість доби, сезонні зміни і т.п. Уміння виділяти в цих процесах основні періоди та вимірювати їх з високою точністю є прикладами зразкових методів обробки сигналів.

Частота періодичних сигналів  $f$  пов'язана з основним періодом  $T$  простим співвідношенням:

$$f = 1/T \quad (1.3)$$

На рисунку 1.3,а зображено цифровий періодичний сигнал “прямокутна синусоїда”, також з постійним періодом слідування. Як правило, з метою синхронізації, передачі точних значень частоти та/або часу, використовуються детерміновані періодичні гармонійні або цифрові сигнали.

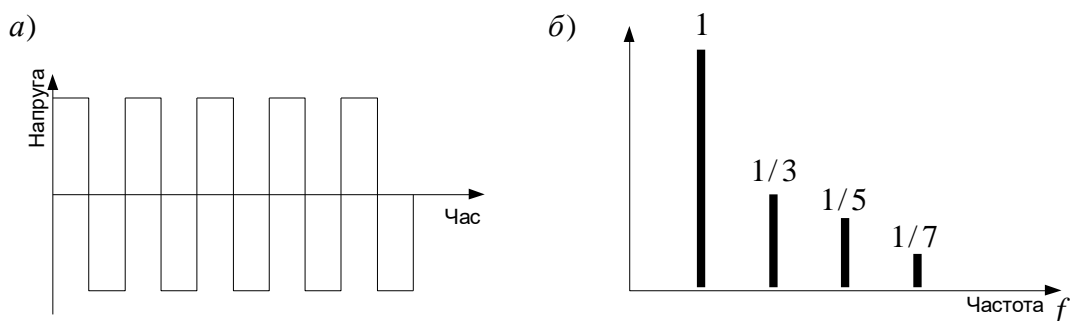


Рисунок 1.3 - Приклад детермінованого сигналу: періодичний цифровий сигнал

### **Випадкові сигнали. Стаціонарність та ергодичність**

*Випадкові сигнали* – функції часу, миттєві значення яких є випадковими величинами.

Величину, яка характеризує детермінований сигнал (наприклад, амплітуду) можна виміряти, виконавши однократне порівняння з мірою, а параметри – функціонали цих сигналів визначаються на інтервалі, що не перевищує одного періоду сигналу. Ніяка характеристика вірогідності випадкового процесу не може бути визначена одиничною вибіркою: остання дає лише реалізацію випадкової величини – значення випадкового процесу за час вибірки.

*Випадкові процеси* можуть бути стаціонарними та нестаціонарними. За визначенням, наприклад, процеси називають *стаціонарними у вузькому розумінні*, якщо їх  $n$ -вимірні площини вірогідностей не залежать від часового зсуву; а якщо не залежать від часового зсуву тільки перший та другий моменти, то процес називають *стаціонарним у широкому розумінні*.

Для того, щоб отримати повне уявлення про процес, необхідно відштовхуватись від властивостей всього ансамблю реалізацій, що відповідають процесу, який вивчається. Випадковий процес, який описує явище що вивчається, задається саме ансамблем його реалізацій.

У загальному випадку, коли одне або кілька таких середніх значень процесу змінюються протягом часу, то процес називається *нестаціонарним*. Якщо ж усі середні значення не залежать від моменту часу, то випадковий процес називається *стаціонарним (стабільним, усталеним)*. Середні характеристики стаціонарного процесу для будь-якого моменту часу можна визначити шляхом усереднення по ансамблю реалізацій цього моменту.

На практиці у експериментаторів зазвичай одна лабораторія і одна установка, а не  $10^6$  або  $10^9$ . За даний проміжок часу  $(0, T)$  експериментатор може отримати лише *одну* реалізацію процесу, який його цікавить і тому усереднює по часу, користуючись лише однією реалізацією, однією осцилограмою або аналогічним способом, тобто допускає застосовність ергодичної гіпотези: середнє по часу дорівнює середньому по статистиці (ергодичний).

Випадкові сигнали характеризуються функціями розподілу щільностей вірогідностей, кореляційними і спектральними функціями. Вони можуть бути також описані числовими характеристиками, такими як вірогідність перевищення заданої величини, початковими, центральними моментами і т.д.

При аналізі випадкових явищ використовується надзвичайно велика кількість різних випадкових сигналів. Але іноді достатньо знати два види, які добре описують широкий клас практично важливих випадкових явищ – нормальний (гаусівський) випадковий шум і гармонійний сигнал

### ***Звичайний (гаусівський) процес***

Щільність можливості більшого числа випадкових явищ, які описують практично важливі фізичні явища, добре апроксимуються за допомогою виразу:

$$p(s) = \sigma^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp[-(s - \mu)^2 / 2\sigma^2], \quad (1.4)$$

де  $\mu, \sigma$  - відповідно середнє значення і середнє квадратичне відхилення.

Функція (1.4) вперше була одержана в 1733 р. як наближення біноміального розподілу і зазвичай називається нормальною, або гаусівською, щільністю. Для зручності розрахунків для функції складені таблиці.

Важливість нормального розподілу визначається його широким використанням на практиці. У відповідності з центральною граничною теоремою теорії імовірності, яка не так суворо формулюється наступним чином: *якщо випадкова величина утворена сумою статистично незалежних випадкових величин з будь-якими щільностями, то щільність імовірностей суми цих випадкових величин наближається до нормальної щільності (1.4), якщо  $n$  прямує до нескінченності*. Випадкові явища, дуже часто, дійсно є результатом дії багатьох незалежних випадкових факторів, тому нормальний розподіл часто служить апроксимацією щільності випадкових процесів. Наприклад, при складанні 12 синусоїд розміщення їх миттєвих значень близьке до гаусівського.

Багато мати можливість передбачати, що випадкові процеси мають нормальний розподіл. По-перше, як видно з формули (1.4), нормальний розподіл повністю визначається двома параметрами – середнім значенням і середнім квадратичним відхиленням. Тому для визначення нормальної щільності достатньо оцінити тільки ці два параметри процесу. По-друге, усі лінійні операції над нормально розподіленими випадковими величинами призводять до нормально розподіленої випадкової величини. Це означає, що різні лінійні операції, які зустрічаються в математиці, такі як інтегрування і перетворення Фур'є, що виконуються над нормально розподіленими випадковими величинами, дають в результаті нормально розподілені величини. Більше того, якщо лінійна операція зменшує частотну смугу процесу, тоді вона придушує можливі відхилення від гаусівського вигляду щільності, якщо тільки в процесі відсутні детерміновані складові. По-третє, багато результатів, одержаних для гаусівських процесів, з відповідними поправками, можуть бути поширені на інші види розподілів.

Потрібно відзначити, що звичайна випадкова величина, яка задається щільністю (1.4), теоретично не обмежена, тобто вона з позитивною імовірністю може перевищити як завгодно високий рівень або виявитися нижче самого низького рівню. Але всі фізичні явища і їх випадкові процеси обмежені по величині, як в додатному, так і у від'ємному напрямку, тому ніякий реальний процес не може бути таким як гаусівський.

### **Гармонійний сигнал**

Як уже відзначалося, найбільш поширений вигляд детермінованих сигналів – це гармонійні періодичні процеси або процеси, які розкладаються на гармонійні складові. Для описування будь-якої такої складової не потрібно відносних понять, так як її точне значення в будь-який момент часу розраховується за формулою (1.2)  $s(t) = U \sin(2\pi ft + \varphi)$ . Але, якщо початкова фаза  $\varphi$  - випадкова величина, рівномірно розподілена на інтервалі  $(-\pi, \pi)$ , то цей гармонійний процес випадковий і його щільність імовірності має вигляд:

$$p(u) = (1/\pi)(2\sigma^2 - u^2)^{-1/2}, |u| < U, \quad (1.5)$$



де  $\sigma = 2^{\frac{-1}{2}}$  - середньоквадратичне відхилення гармонійного процесу.

Графік цієї щільності при  $\sigma = 1$ , зображений на рисунку 1.5, допомагає зрозуміти, чому щільність гармонійного процесу має таку форму. Щільність можна розглядати як результат граничної операції над імовірністю того, що  $x(t)$  потрапляє в інтервал шириною  $\Delta x$ , який, у свою чергу, дорівнює відносній частині часу, протягом якого  $x(t)$  знаходиться в межах інтервалу  $\Delta x$ . З рисунку 1.5 видно, що при будь-якій ширині інтервалу  $\Delta x$  гармонійний процес на кожному періоді більшу частину часу знаходиться біля крайніх, пікових значень  $\pm U$  і найменшу – поблизу нульового середнього значення.

Як гаусівська щільність, щільність гармонійного процесу повністю визначається середнім значенням і середньоквадратичним відхиленням. Але, на відміну від гаусівської щільності, у якої найбільш імовірне середнє значення, щільність гармонійного процесу мінімальна в точці з координатою, що дорівнює середньому значенню, тобто значенню, яке наближене до середньої величини, найменш вірогідне. Це є головною відмінністю гармонійного процесу від вузькосмугового шуму, розподіл ймовірностей миттєвих значень яких зазвичай є гаусівським, яким би вузьким не був спектр.

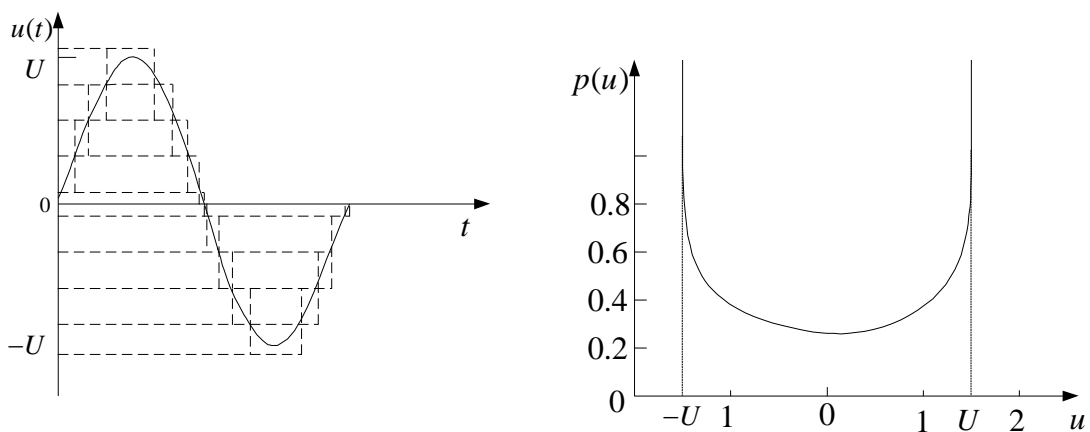


Рисунок 1.5 - Приклад вимірювання щільності ймовірностей гармонійного процесу

## Приклади випадкових сигналів і їх числові характеристики

### Мовні сигнали

Методи, що використовують цифрову обробку сигналів, характеристики і параметри АЦП і кодера, вибір швидкості основного цифрового каналу, тісно пов'язані з характеристиками мовних сигналів.

*Основні характеристики.* У відповідності з Рекомендаціями МСЕ-Е для передачі мови в аналоговій формі, при аналогово-цифровому перетворенні і цифровій обробці сигналу обмежуються інтервалом частот 300 - 3400 Гц. Тривалість мовного сигналу складає від кількох десятків до декількох сотень мілісекунд при середньому значенні 130 мс, причому середнє значення для голосних звуків 210 мс, а для приголосних 95 мс. У задачах кодування мовний сигнал часто розглядають як квазістаціонарний гаусівський процес,

спектрально-кореляційні характеристики якого постійні на інтервалі 20-30 мс. При телефонній розмові миттєвий рівень мовного сигналу змінюється в діапазоні 35...40 дБ. При цьому рівень приголосних у середньому на 20 дБ нижче рівня голосних.

Слухове сприйняття голосності приблизно пропорційне логарифму інтенсивності впливу. Порогова для слуху зміна рівня звуку не перевищує  $\pm 1$  дБ. Слух слабо чутливий до точності передачі фазових співвідношень спектральних складових сигналу. Спектр потужності мовного сигналу має максимум поблизу частот 400 - 500 Гц. Постійна часу слуху в середньому складає: при зростанні сигналу 20...30 мс, а при спаданні - 100...200 мс.

## 1.2 Методи мультиплексування сигналів

Загальна схема методів розподілу сигналів – мультиплексування (від англійського Multiplex – “багатократний”) показана на рисунку 1.6. Основна мета мультиплексування – передача кількох сигналів (каналів) по одному тракту без взаємного впливу.

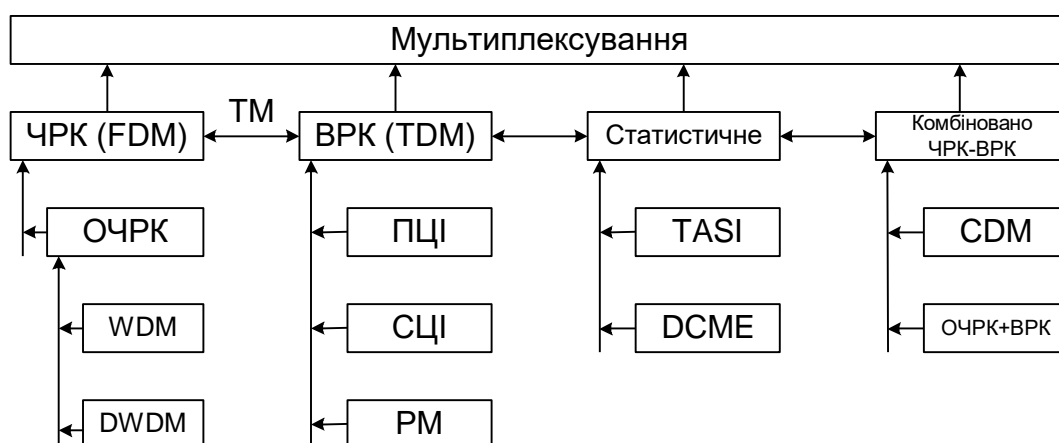


Рисунок 1.6 - Загальна схема класифікації методів мультиплексування в телекомунікаційних системах

ТМ позначені системи *трансмуплексування*, тобто перехід від однієї системи мультиплексування до іншої, наприклад, від системи передачі з ЧРК до ВРК – ЦСП з ІКМ.

Умовно методи цієї групи можна розділити на три частини: методи ЧРК, до яких належать і багаточастотні (хвильові) системи, методи ВРК – плезіохронної, синхронної цифрової ієрархії і пакетних методів передачі, а також згадані статистичні методи передачі.

Необхідно враховувати, що системи мультиплексування можуть бути з організацією циклів і фіксованим розміщенням груп сигналів – це ЦСП плезіохронної і синхронної цифрових ієрархій, і без організації циклів – у вигляді пакетів або комірки одного джерела інформації. Ці дві групи методів

представляють два різних принципи або режими цифрової передачі – синхронний і асинхронний (рис.1.7).

На практиці, в техніці передачі повідомлень широке застосування знайшли методи частотного і часового розподілу каналів. В основі цих методів, а також методів взаємних перетворень при взаємодії, лежать часові і спектральні методи представлення сигналів.

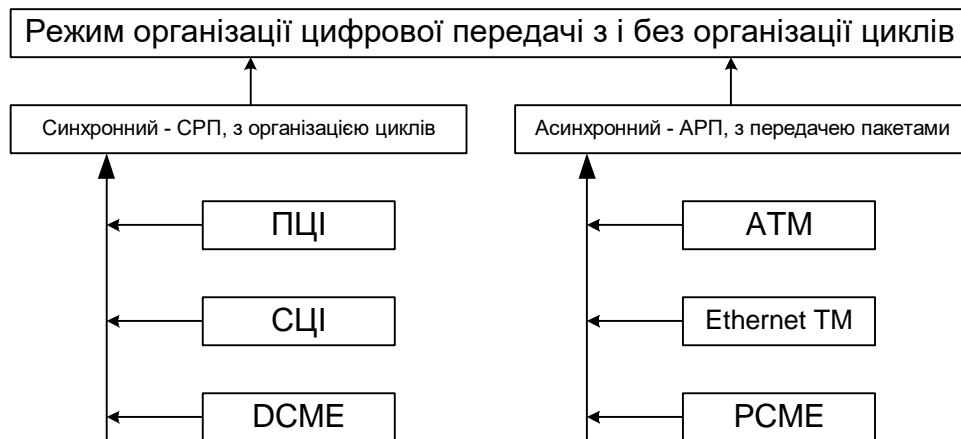


Рисунок 1.7 - Загальна схема класифікації режимів передавання

Слід звернути увагу, що при класифікації методів часового розподілу каналів і режимів передачі використані поняття “синхронний”, “асинхронний”, “плезіохронний”, які належать до поняття синхронізації сигналів або процесів. Іншими словами, в основу класифікації методів мультиплексування (часового групоутворення) і режимів передачі закладені принципи синхронізації.

### 1.3 Плезіохронна та синхронна цифрова ієрархія

В залежності від швидкості потоків виділяють ієрархічні рівні сигналів.

Цифрова ієрархія – впорядкована за певними правилами послідовність групоутворення, яка об’єднує на кожному рівні певну кількість сигналів нижчого рівня в один потік так, щоб потім цей сигнал разом з іншими цифровими сигналами з такою ж швидкістю міг бути об’єднаним в цифровий сигнал більш високого рівня.

*Плезіохронна цифрова ієрархія (ПЦІ)* – це стандартний ряд швидкостей (ієрархічних рівнів), рекомендованих МСЕ – Т для використання в цифрових мережах. Починаючи з 1970 –х рр. ПЦІ стала міжнародним стандартом цифрових систем передачі.

На сьогоднішній день МСЕ-Т визначені дві ПЦІ, які мають різні швидкості, але побудовані за одним принципом:

- європейська ПЦІ, основана на сигналі первинного мультиплексування ІКМ Е1 зі швидкістю 2,048 Мбіт/с;

- північноамериканська і японська ПЦІ, основані на сигналі первинного мультиплексування ІКМ DS 1 зі швидкістю 1,544 Мбіт/с.

Один канал ІКМ зі швидкістю 64 кбіт/с позначається Е0.

## Європейська ПЦІ

Рівень	Номинальна швидкість, Мбіт/с	Кількість каналів	Примітка
E1 1-й рівень	2.048	30	Первинне мультиплексування ІКМ
E2 2-й рівень	8.448	120	Утворюється асинхронізм мультиплексуванням 4-х сигналів E1
E3 3-й рівень	34.368	480	Утворюється асинхронізм мультиплексуванням 4-х сигналів E2
E4 4-й рівень	139.264	1920	Утворюється асинхронізм мультиплексуванням 4-х сигналів E3

Цифрові ієрархії, стандартизовані в Північній Америці і Японії, основані на сигналі первинного мультиплексування ІКМ на 24 телефонні канали з швидкістю 1,544 Мбіт/с. Правила кодування і квантування аналогового сигналу також відрізняються від Європейського ( $\mu$  і А-закони, відповідно).

Вищі ієрархічні рівні, як і в Європейських системах, утворюються шляхом асинхронного цифрового мультиплексування з чергуванням бітів, але при побудові ієрархій використовуються інші правила.

Сигнали різних ієрархічних рівнів позначаються як Dsi (digital signal – цифровий сигнал). Тільки перші 3 рівні Північноамериканської ієрархії і 4 рівні Японської (перші 2 рівні однакові) повністю стандартизовані МСЕ-Т. Іноді один канал ІКМ зі швидкістю 64 кбіт/с позначається як DS0.

Системи ПЦІ призначені для задоволення потреб абонентів у звичайному телефонному зв'язку, який надає телефонна мережа загального користування. Вона в недостатній мірі підходить для якісного передавання інформації і управління з'єднаннями з широкою смугою пропускання. Оператори мережі, основаної на плезіохронних системах передавання не в змозі задовольнити потреби абонентів у більш складних послугах (відеоконференція, засоби передачі даних, дистанційний доступ до баз даних). Для задоволення цих послуг необхідна гнучка мережа.

Тому для роботи на більш високих швидкостях було впроваджено стандарт СЦІ. Цикли СЦІ розроблені з урахуванням розміщення всіх типів сигналів ПЦІ для забезпечення повної взаємодії мереж ПЦІ і СЦІ.

В 1970 році в США була розроблена система SYNTRAN (SYNchronous TRANsmission – синхронна передача). Ця система базувалася на синхронному цифровому мультиплексуванні 28 компонентних потоків зі швидкістю 1,544 Мбіт/с і фіксованим розміщенням октетів у циклі для того, щоб забезпечити

прямий доступ до каналів ІКМ. Швидкість групового сигналу відповідала сигналу 3-го рівня DS3 північноамериканської ієрархії ПЦІ (44736 Мбіт/с).

Основні проблеми: складна структура циклу, недостатній для службових функцій розмір заголовка і, що важливіш за все, неможливість знищення проковзувань у відсутність мережної синхронізації.

Це обмежило використання SYNTRAN кількома експериментами.

На початку 1980-х років в американській лабораторії BELL CORE було розроблено нову синхронну цифрову ієрархію, названу синхронною оптичною мережею SONET (Synchronous Optical NETwork – SONET), великого успіху яка досягла завдяки модернізації мережі синхронізації AT&T.

В 1986 році за пропозицією США в МККТТ (МСЕ-Т) почали створювати новий міжнародний стандарт синхронізації цифрової ієрархії (СЦІ), оснований на американському стандарті SONET, але з деякими доробками.

Таблиця – Відмінності між СЦІ і SONET

Цифрова ієрархія	Сигнали ПЦІ, з якими працює	Швидкість 1-го рівня	Фізичний інтерфейс
SONET	Японська Північноамериканська	51, 840 Мбіт/с	Оптичне волокно
СЦІ	Японська Північноамериканська Європейська	155, 520 Мбіт/с	Оптичне волокно радіорелейні системи, коаксіальний кабель

### Ієрархічні рівні СЦІ і SONET

Цикли різних стандартних рівнів СЦІ наз. синхронними транспортними модулями рівня N (STM-N) при N=1,4,16,64,... Швидкість кожного рівня отримується шляхом множення основної швидкості STM-1 (155, 520 Мбіт/с) на N.

Для сигналів ієрархії SONET використовуються інші позначення. Сигнали наз. синхронними транспортними сигналами рівня N (STS-N) при N = 1,3,12,48,192,... Основна швидкість сигналу STS-1 (51, 840 Мбіт/с) складає одну третю швидкості STM-1. Швидкості вищих рівнів отримуються шляхом множення базової швидкості STS-1 на N. Крім того, оптичні сигнали SONET називають *оптичними каналами рівня N (OC- N)*.

СЦІ здатна розширити корисну смугу пропускання, не дивлячись на скорочення кількості обладнання на мережі. Вона сумісна з існуючими плезіохронними системами і визначає структуру, яка комбінує плезіохронні сигнали і вводить їх в стандартний СЦІ-сигнал.

## **2 СИНХРОНІЗАЦІЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ**

### **2.1 Процес синхронізації. Основні поняття та визначення**

**Синхронізація** - процес встановлення і підтримки певних часових співвідношень між двома і більше процесами. Дві послідовності подій є синхронними, якщо відповідні події відбуваються в них одночасно.

Синхронізація – це засіб підтримки роботи всього цифрового обладнання в мережі зв'язку на одній середній швидкості. Для цифрового передавання інформація перетворюється в дискретні імпульси за допомогою імпульсно-кодової модуляції (дискретизація, квантування, кодування).

При передаванні імпульсів через цифрову мережу всі її компоненти повинні синхронізуватися. Синхронізація повинна існувати на трьох рівнях: бітова, на рівні каналних інтервалів та кадрова синхронізація.

Бітова синхронізація полягає в тому, що передавальний та прийомний кінці лінії працюють на одній тактовій частоті, тому біти зчитуються правильно. Для досягнення бітової синхронізації приймач може отримувати свої тактові імпульси з вхідної лінії. Бітова синхронізація включає такі проблеми як джитер лінії передачі і густина одиниць. Ці проблеми виникають при висуванні вимог до синхронізації та системи передавання.

Синхронізація каналного інтервалу (time slot) з'єднує приймач з передавачем таким чином, щоб каналні інтервали могли бути розпізнані для вилучення даних. Це досягається шляхом використання фіксованого формату кадру для розділення байтів. Основними проблемами синхронізації на рівні каналного інтервалу є час зміни кадру та знаходження втрати кадру.

Кадрова синхронізація викликана необхідністю узгодження по фазі передавача з приймачем таким чином, щоб можливо було визначити початок кадру. Кадром в сигналі DS1 або E1 є група біт, що складається з 24 чи 30 байтів (каналних інтервалів) відповідно, і одного імпульсу кадрової синхронізації. Час кадру дорівнює 125 мкс.

### Принципи синхронної комутації

Синхронні системи належать до класу цифрових систем, тобто таких, які при забезпеченні з'єднання оперують тільки цифровими сигналами.

Переваги і концепція побудови цифрових систем базується на наступних принципах:

1 – розподіл часу (РЧ) роботи пристроїв між сукупністю одночасно функціонуючих джерел інформації, що дозволяє за рахунок ефекту групування значно скоротити об'єм комутаційного обладнання у порівнянні з системами, які не використовують принципу розподіл часу.

2 – інтеграція систем комутації і передавання означає, по суті, перенесення принципу РЧ і на стик між цими двома системами і, тим самим, ліквідацію індивідуальних для кожного каналу ланцюгів.

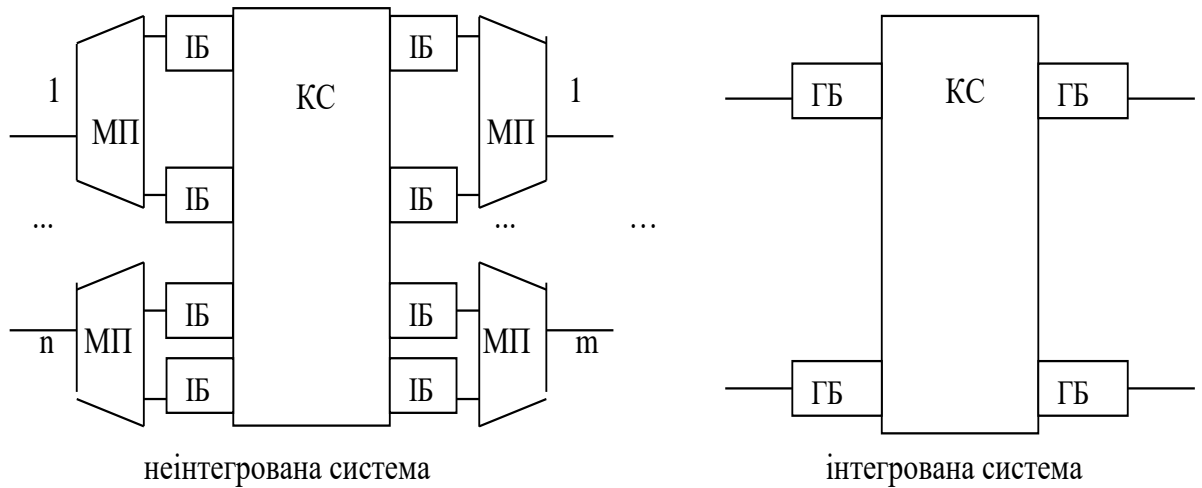


Рисунок - Структурна схема стику для інтегрованих і неінтегрованих СК

З порівняння схем видно, що суттєвий ефект від інтеграції досягається за рахунок виключення мультиплексорів, необхідних в неінтегрованих КС для просторового розподілу ланцюгів перед введенням їх в КС, а також за рахунок значного скорочення кількості лінійних блоків завдяки переходу індивідуальних блоків на групові, які обслуговують у режимі РЧ групу каналів даних. Кількість фізичних входів у системі з інтеграцією комутації і передачі визначається загальною кількістю групових трактів, що підключаються до неї, а не індивідуальних ліній.

Основа для інтеграції СК і передачі – використання в ЦСК принципів багатократної комутації, яка означає розподіл каналів у комутаційному полі не тільки по просторовій, але і за іншими можливими ознаками (часу, адресі та ін.). А обов’язкова умова – використання в СП і СК однакової розподільної ознаки.

3 – Широке використання елементів сучасної цифрової техніки дозволяє знизити вартість апаратури, підвищити її надійність і експлуатаційні характеристики, зменшити габарити, витрати матеріалів і електроенергії.

4 – Управління по записаній програмі з використанням швидкодіючих засобів обчислювальної техніки значно зменшує час встановлення з’єднання, підвищує гнучкість системи і можливості введення нових послуг, дозволяє автоматизувати процес експлуатації обладнання.

### 2.1.1 Системи синхронізації

*Система синхронізації* – це сукупність технічних засобів, що визначають початок і кінець прийнятих посилок, швидкість передачі і регулювання цієї швидкості з метою підтримки синхронного стану.

Для правильного підходу до питання синтезу систем синхронізації необхідно дотримуватися основних вимог, яким повинні задовольняти ці системи:

- точність синхронізації – характеризує відносну величину відхилення опорного сигналу від прийнятого;

- час фазування – визначається як максимальний час входження в синхронізм як при первинній неузгодженості, так і при перервах у роботі;
- збереження синфазності при короткочасних перервах зв'язку;
- незалежність точності синхронізації від інформації, що передається;
- швидка зміна фази опорного сигналу при зміні фази посилок, що приймаються.

### *Класифікація систем синхронізації.*

В лініях зв'язку інформація передається блоками визначеної довжини, які складаються з елементарних посилок. Частина розрядів призначена для розміщення корисної інформації, а частина – допоміжної, такої, що виконує функції фазування, захисту від помилок і т. ін.

Відповідно до цього розрізняють синхронізацію двох типів:

- блоків інформації – циклову синхронізацію;
- елементарних посилок – тактову.

Ці дві задачі вимагають побудови двох різних систем синхронізації. Характерна риса систем синхронізації по циклам – необхідність передачі спеціальної синхроінформації. Класифікацію систем циклової синхронізації проводять в залежності від того, яким чином ця інформація передається по каналу зв'язку.

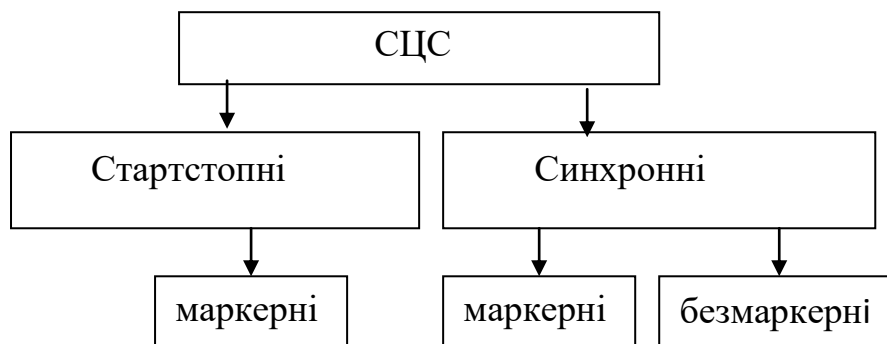


Рисунок - Класифікація систем циклової синхронізації

Системи тактової синхронізації є системами автоматичного регулювання. Тому теорія автоматичного регулювання може слугувати теоретичною основою для дослідження їх властивостей (статичних і динамічних). Це дозволить аналізувати одразу цілий ряд систем, які відносяться до одного класу.

СТС



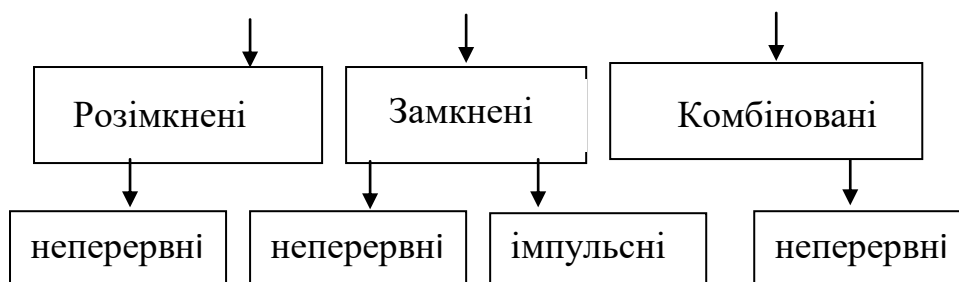


Рисунок - Класифікація систем тактової синхронізації

У *розімкнених* алгоритм управління виробляється на основі заданого алгоритму функціонування і не контролюється іншими факторами – збуреннями чи вихідними координатами процесу;

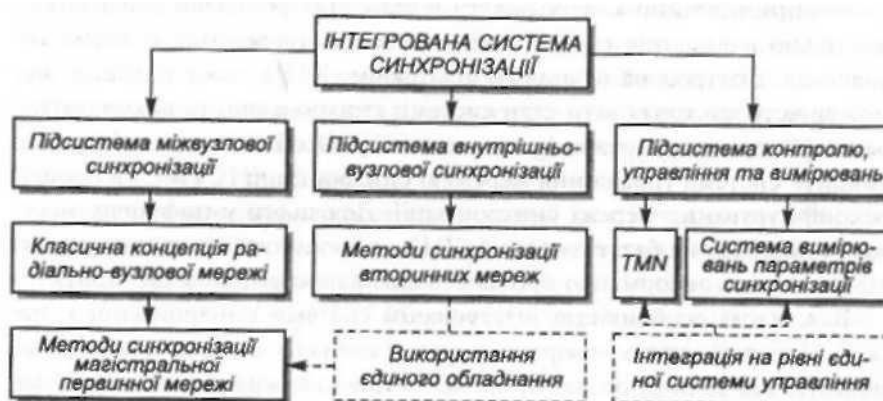
У *замкнених* (системах з управлінням за відхиленням) корективи в алгоритм управління вносяться по фактичному значенню координат в системі;

У *комбінованих* використовується як принцип регулювання по відхиленню, так і принцип регулювання по зовнішньому впливу – керування або збурення.

Сучасна концепція побудови системи синхронізації характеризується повномасштабним впровадженням інтегральних систем синхронізації (ІСС).

Структура ІСС складається з трьох підсистем:

- підсистеми міжвузлової синхронізації (ПМС) (Interoffice Timing);
- підсистеми внутрішньовузлової синхронізації (ПВС) (Intraoffice Timing);
- підсистеми контролю та управління якістю синхронізації (ПКУ).



TMN – мережа управління телекомунікаціями

Рисунок - Структура інтегральної систем синхронізації

**Підсистема міжвузлової синхронізації** передбачає розміщення в ключових вузлах мережі пристроїв синхронізації та побудову мережі розподілення сигналів синхронізації. Вона є основою для будь-якої системи синхронізації, а отже, найважливішою ланкою при проектуванні, будівництві та експлуатації як

мережі синхронізації, так і мережі телекомунікацій. ПМС має власну топологію, яка може відрізнятися від топології мережі телекомунікацій, але тісно пов'язана з її структурою та розмірами. В процесі розширення та реконфігурації основної мережі телекомунікацій мережу ПМС також слід змінювати та модернізувати.

**Підсистема внутрішньовузлової синхронізації** визначає порядок синхронізації різних цифрових пристроїв в межах одного мережного вузла, тобто має більш локальне значення порівняно з ПМС. До складу ПВС можуть входити як окремі виділені пристрої синхронізації, так і вбудовані в окремі цифрові пристрої даного мережного вузла. На відміну від підсистеми міжвузлової синхронізації, яка проектується, будується та системно обслуговується з урахуванням топології та процесів, що відбуваються в мережі телекомунікацій, ПВС створюється локально у прив'язці до конкретного вузла мережі.

Обидві підсистеми будуються на базі єдиного типу виділеного пристрою синхронізації (SSU).

**Підсистема контролю та управління якістю синхронізації** призначена для управління, діагностики та контролю якості сигналів синхронізації.

Через високий рівень вимог до параметрів якості та надійності національної інтегрованої системи синхронізації оператори мережі зв'язку повинні постійно контролювати її стан.

З цією метою створюється система управління, інтегрована в загальну платформу TMN, тому оператор має можливість контролювати стан системи синхронізації та виконувати її реконфігурування в режимі реального часу.

Особливо важливі функції виконує система управління мережею синхронізації (СУМС) в процесі реконфігурування мережі синхронізації. Для цього у цифрових мережах, створених на базі технологій SDH, використовуються сигнали, що відображають інформацію про якість сигналів синхронізації (SSM).

Важливою особливістю інтегрованої системи синхронізації є необхідність регулярних вимірювань якості сигналів синхронізації. Досвід показує, що точний розрахунок параметрів сигналів синхронізації для мережі з 20-30 вузлами з урахуванням резервування каналів є дуже складною задачею, розв'язання якої без сучасної системи автоматичного проектування (САПР) практично неможливе. Разом з тим донині системи САПР, які мають використовуватися при проектуванні мережі синхронізації, не знайшли широкого застосування на практиці, оскільки ще самі перебувають у стадії формування.

Тому проектувальники мережі синхронізації та системні фахівці, як правило, використовують оціночні методи аналізу параметрів сигналів синхронізації в конкретній мережі телекомунікацій. Такі методи не дають точного значення параметрів сигналів синхронізації й упевненості в тому, що вибір топології мережі синхронізації є оптимальним. У цьому разі при створенні інтегрованої системи синхронізації має застосовуватися **метод ітерацій**. Спочатку створюється спеціальна система, накладена на існуючу мережу телекомунікацій. Топологія цієї системи вибирається на базі існуючих

рекомендацій ІТУ, параметри сигналів синхронізації розраховуються оціночно. Потім вимірюються параметри сигналів синхронізації в ключових точках. За одержаними результатами вимірювань коригуються раніше прийняті технічні рішення щодо створення мережі синхронізації.

### 2.1.2 Сигнали синхронізації

**Сигнал** (в теорії інформації та зв'язку) — матеріальний носій інформації, що використовується для передавання повідомлень по системі зв'язку. Сигналом може бути будь-який фізичний процес, параметри якого змінюються у відповідності з передаваними повідомленнями.

**Цифровий сигнал** — дискретний сигнал з певним значенням інформативного параметра, яке визначається у цифровій формі. Цифрові сигнали є цифровим зображенням дискретного сигналу, який часто добувається шляхом квантування аналогового сигналу.

*Цифрові сигнали бувають:* ізохронні, анізохронні.

*Ізохронний* цифровий сигнал – сигнал, у якого часові інтервали між значущими моментами мають в середньому однакову тривалість, або тривалості, кратні найменшій з них. Стандартні цифрові сигнали завжди ізохронні (наприклад, 2,048 Мбіт/с в коді HDV3).

*Анізохронний* сигнал не є ізохронним. Наприклад, сигнал, в якому 1 і 0 кодуються імпульсами різної змінної довжини.

*Синхронними* називають два ізохронних сигнали, якщо відповідні їм тактові сигнали мають в середньому однакову частоту, а фазове співвідношення точно контролюється (тобто зсув фази  $\Delta\phi = \text{const}$ ).

Два цифрових сигнали є *асинхронними*, якщо вони не синхронні.

*Мезохронні* цифрові сигнали – це ізохронні асинхронні сигнали, для яких відповідні їм тактові сигнали мають в середньому однакову частоту, але фазове співвідношення не контролюється.

*Плезиохронні* – це ізохронні асинхронні цифрові сигнали, для яких відповідні їм тактові сигнали тільки номінально мають однакові значення частоти. Фактичні значення частоти розрізняються в межах заданого допустимого діапазону.

Гетерохронні – ізохронні, асинхронні сигнали, для яких відповідні їм тактові сигнали мають різні номінальні частоти.

*Асинхронний* режим передавання – коли джерела інформації взаємно асинхронні, і інформація розділяється на інформаційні блоки, які передаються в незалежні моменти часу з інтервалами, які залежать від вимог джерела.

*Синхронний* режим – коли джерела інформації взаємно синхронні, тобто можуть почати передавання своїх інформаційних блоків тільки в призначені часові інтервали. Має місце особливий випадок, коли слова фіксованого розміру передаються періодично (ІКМ).

*Синхросигнал* може бути визначений як неперіодичний або псевдоперіодичний сигнал, який використовується для управління цифровими сигналами в часі.

*Відновлення синхронізації* – процес виділення синхросигналу з прийнятого цифрового.

Типові форми сигналів синхронізації - синусоїдальна і прямокутна:

Синхросигнал можна представити послідовністю імпульсів з періодом  $T$  в характерні моменти, які називаються значущими. В ці моменти синхросигнал ініціює управління мий процес. Для простоти в якості значущих моментів можуть бути вибрані моменти, що легко визначаються, наприклад, моменти, в які синхросигнал приймає нульові значення.

*Регулярний* синхросигнал – ізохронний тактовий сигнал з усіма очікуваними значущими моментами, рівномірно розподіленими в часі (рис. ). Всі цифрові сигнали, які переносяться в мережах зв'язку, синхронізується такими регулярними сигналами.

*Нерегулярний* синхросигнал отримують з регулярного, вставляючи пропуски там, де в регулярному сигналі повинен бути імпульс (рис. ). Це також ізохронний сигнал. Він має більш низьку середню частоту в порівнянні з регулярним, з якого він отриманий, але має такий же тактовий період (максимальну швидкість проходження тактів). Використовується при синхронізації вставок компонентних бітів у груповому сигналі.

*Одиничний інтервал* – номінальний часовий інтервал між послідовними значущими моментами ізохронного сигналу або самий короткий інтервал, якщо інтервали є кратними цілими числами.

Для формування синхросигналу (СС) використовується спеціальна кодова група, яка називається синхрогрупою (СГ). СС формується на передавальному боці і передається разом з інформацією по лінійному тракту.

СС характеризується: структурою, часовим положенням в циклі та довжиною.

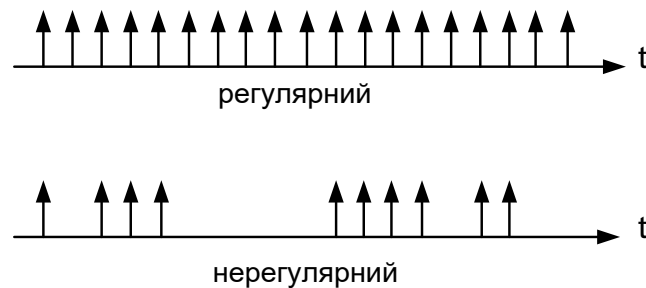


Рисунок – Процес утворення нерегулярного синхросигналу

Ці параметри визначаються вибраною СП, виходячи з вимог до завадостійкості, можливостями забезпечення пропускнув спроможності і мінімальної надлишковості заданих характеристик на час встановлення синхронізації.

*Синхрогрупи класифікуються:*

- по кількості символів: багатосимвольні, односимвольні;
- по структурі (характеру чергування імпульсів та пропусків);
- по розподілу символів в циклі передачі: зосередженні, розосередженні.

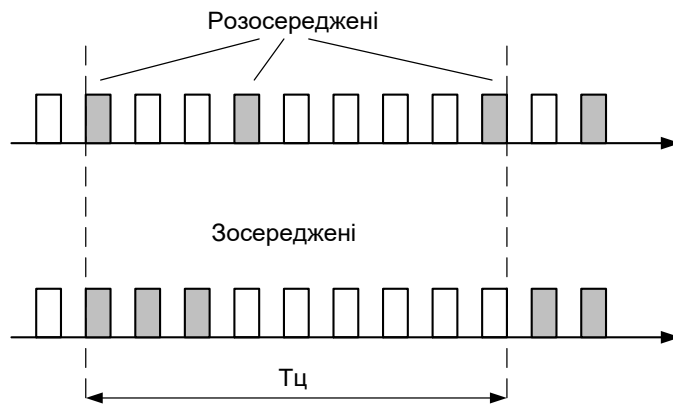


Рисунок - Приклад синхрогруп

Відновлення синхронізму після перебоїв зв'язку відбувається по закінченні процесу пошуку СС. Час пошуку СС може бути рівним або перевищувати подовженість завад, викликаючи перебої в зв'язку і залежить від структури і кількості символів СС. Структура повинна бути вибрана таким чином, щоб середній інтервал часу між збоями був  $\max$  і  $\min$  була ймовірність фальшивого виділення СС:

$$P_{\phi} = \frac{(n - k + 1) \cdot 2^{n-k}}{(n + k) \cdot 2^n - (k - 1)} \quad (2.1)$$

$n$  - кількість інформаційних символів;

$k$  - кількість символів СС.

Важливою складовою частиною процесу встановлення синхронізму по циклам на прийомному боці цифрової системи є знаходження циклового СС. Від обраного алгоритму знаходження СС залежить час входження в синхронізм, ймовірність фіксації хибного положення синхронізму та інші показники.

*Розрізняють 2 групи методів знаходження синхросигналу:*

1 - оптимальні;

2 - квазіоптимальні та пошукові.

*До оптимальних належать:*

- методи оптимальної обробки безпосередньо суміші групового сигналу та шуму;

- методи, основані на оптимальних алгоритмах обробки відгуків дискретного розпізнавача СС.

*Аналогічно, серед квазіоптимальних і пошукових розрізняють:*

- методи квазіоптимальної обробки суміші групового сигналу і шуму;

- квазіоптимальні обробки відгуків дискретного розпізнавача СС;

- методи, основані на коригуванні ділителів тактової частоти до частоти надходження циклів;

- методи пошуку СС.

Завдяки простоті технологічної реалізації, найбільше розповсюдження в сучасних цифрових системах отримали методи, основані на пошуку СС шляхом послідовного контролю позицій приймаємого лінійного сигналу – пошукові методи.

При нерозпізнаванні символів СС на випробовуваних позиціях, здійснюється перехід до випробовування наступних позицій циклу.

## 2.2 Синхронізація цифрових мереж

### 2.2.1 Цифрові похибки і джитер

Одним з важливих питань при побудові цифрових мереж є синхронізація та синфазування сигналів, що передаються і комутуються. Безпомилковий прийом інформації можливий при однакових швидкостях роботи тактових генераторів передавальних і приймальних станцій. Крім цього, необхідна синфазна робота і цифрових систем передачі, які самі є джерелами двох видів спотворень цифрового сигналу, які виникають за рахунок використання регенерації з самозбереженням, тобто з виділенням тактової частоти з імпульсної послідовності, що надходить на регенератор. Цими спотвореннями є *цифрові похибки і джитер*.

*Джитер* - фазове дрижання і блукання фази. При проходженні лінії зв'язку виникає в першому регенераторі, доповнюється і накопичується на кожному наступному.

*Цифрові похибки* - взаємна трансформація одиниць і нулів - впливають на якість мови по різному, в залежності від положення розряду в кодовій комбінації сигналу ІКМ. В телефонному каналі цифрова похибка має значний вплив на відчуття мови, якщо відбулася в одному з двох старших розрядів. Якість зв'язку залишається задовільною, якщо така похибка відбувається не частіше, ніж одна за хвилину.

**Мережа синхронізації** – це технічні засоби, які спроможні забезпечити всі мережі електрозв'язку опорними сигналами синхронізації потрібної якості.

Для синхронізації цифрової мережі потрібно:

- встановити єдину тактову частоту для всіх елементів цифрової мережі, що потребують синхронізації, так, щоб ці елементи працювали з однаковою середньою швидкістю;

- компенсувати затримку передавання сигналу між вузлами комутації та коливання цієї затримки, спричинені температурними та іншими змінами, довівши її до цілого значення періоду циклу, щоб фази циклу в кожній лінії передачі точно збігалися;

- підтримувати синхронізацію мережі в будь-який час незалежно від аварій та перемикань, що виникають у процесі експлуатації.

Тобто, необхідна синхронізація всіх цифрових пристроїв мережі незалежно від того, на якому рівні мережі вони розташовані. Але, сучасні методи проектування та побудови мереж телекомунікацій встановлюють деяку пріоритетність у побудові систем синхронізації. В телекомунікаціях первинна (транспортна) мережа є ядром мережі й забезпечує не тільки

транспортування трафіку вторинних мереж, але і передавання сигналів синхронізації. Тому первинна мережа є першим рівнем мережі синхронізації, від якого здійснюється синхронізація всіх видів вторинних мереж з урахуванням особливостей архітектури останніх.

### 2.2.2 Методи синхронізації цифрових мереж

Для взаємної синхронізації цифрових КС застосовують, в основному два метода: *ізохронний та плезіохронний*.

При *ізохронному* методі на одній із станцій встановлюється високостабільний генератор тактових імпульсів, який є ведучим по відношенню до тактових генераторів інших станцій мережі. Синхронізація може здійснюватися шляхом виділення із сигналу на вході приймальної станції тактової частоти головного генератора і фіксації його фази, з подальшим регулюванням частоти і фази генератора приймальної станції до повного співпадання з частотою і фазою головного генератора.

Це найпростіший спосіб синхронізації, але наявність одного головного генератора означає, що вихід його з ладу призводить до порушення роботи всієї мережі. Крім того, до нестабільності частоти цього генератора пред'являються дуже високі вимоги.

Для підвищення надійності роботи мережі при використанні ізохронного методу вводиться *багаторівнева ієрархічна структура* організації взаємодії тактових генераторів на мережі (рис. ).

Рівні ієрархії визначаються у відповідності з типом задаючих генераторів на вузлах мережі. Вузли самого високого рівня містять високостабільні атомні генератори з відносною нестабільністю  $10^{-9}$ - $10^{-11}$ . Вузли наступних рівнів містять кварцеві генератори з нестабільністю не гірше за  $10^{-6}$ .

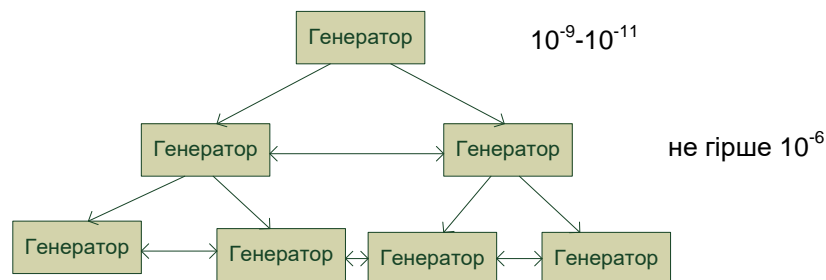


Рисунок - Ієрархічна структура організації взаємодії тактових генераторів на мережі

Багаторівнева структура дозволяє в значній мірі компенсувати основний недолік ізохронного метода, однак висуває іншу задачу – забезпечення надійних і стійких трактів передачі управляючої інформації. Результати дослідження ефективності ієрархічної структури синхронізації показали, що наявність на кожному вузлі, крім головного, хоча б трьох незалежних ліній зв'язку для передачі управляючої інформації достатньо, щоб втрата синхронізму на мережі не перевищувала в середньому одну годину на рік.

При *плезіохронному* методі на кожній станції або вузлі мережі встановлюється незалежний високостабільний тактовий генератор з відносною нестабільністю частоти не гірше за  $10^{-9}$ .

### 2.2.3 Проковзування та їх види

Явище дублювання або пропуску інформації за рахунок розходження частот генераторів, називається *проковзуванням* і приводить до спотворення інформації, що передається.

Якщо обладнання на передавальному боці працює з частотою, більшою, ніж частота обладнання на прийомному боці, то приймач не в змозі відслідковувати потік інформації. У цьому випадку приймач буде періодично пропускати частину переданої йому інформації. Втрата інформації називається *проковзуванням видалення*.

У випадку, якщо приймач працює з частотою, яка перевищує частоту передатчика, він буде дублювати інформацію, продовжуючи працювати на своїй частоті і все ще здійснюючи зв'язок з передатчиком. Це дублювання інформації називається *проковзуванням повторення*.

При плезіохронному методі вирівнювання частот генераторів реалізується за допомогою спеціальних буферних запам'ятовуючих пристроїв (БЗП), які встановлюються для кожного цифрового тракту на приймальній станції (рис. ).

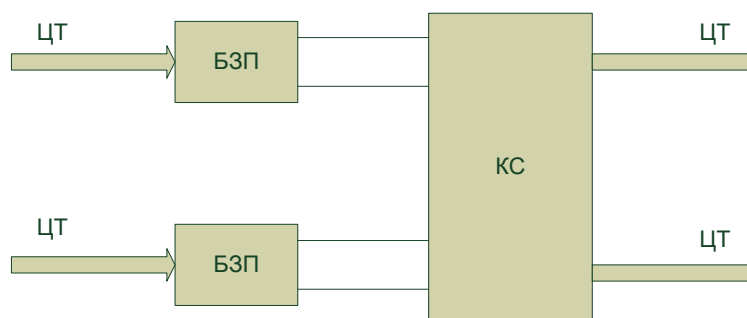


Рисунок - Вирівнювання частот генераторів за допомогою БЗП

Запис інформації в БЗП здійснюється з тактовою частотою генератора передавальної станції, а зчитування – з тактовою частотою приймальної. Моменти зчитування і запису рознесені в часі. Тобто, введення БЗП вносить затримку в процес передавання повідомлень, величина якої нормується. При визначенні об'єму БЗП виходять з двох суперечних вимог: з одного боку, прагнуть забезпечити високу якість передавання за рахунок компенсації нестабільності частот тактових генераторів; з іншого боку – мінімізувати час затримки інформації.

З метою задоволення норм на проковзування розрізняють наступні способи синхронізації:

- нав'язування тактової частоти джерела інформації цифровому каналу, який виділений мережею;
- нав'язування тактової частоти каналу сигналу джерела інформації.



Більша група задач синхронізації вирішується методом “узгодження” різних цифрових потоків на різних швидкостях. У загальному вигляді ці задачі можна звести до так званої “задачі про два генератора”. Ця задача виникає коли існує два або більше джерел тактової частоти з близькими, але не рівними частотами. Наприклад, запис інформаційного сигналу проводиться з однією частотою, а зчитування - з іншою. Така ситуація виникає:

- на міській або міжміській мережі при передачі цифрового сигналу від обладнання однієї цифрової КС або АМТС до іншої, які працюють зі своїми задаючими генераторами;

- при мультиплексуванні цифрових потоків, коли тактові частоти “вищих” потоків не кратні цілому числу потоків нижнього порядку, так як це відбувається в мультиплексорах/демультиплексорах ПЦІ;

- коли значущі моменти інформаційного сигналу і сигналу тактової частоти зміщуються один відносно одного через нестабільність елементів схеми або впливу завад, паразитної фазової модуляції і т.п.

На комутаційних станціях застосовують буферні ЗУ, які здатні зберігати один або два повних цикли, тобто 256 або 512 біт первинного цифрового потоку. Якщо ємність переповнюється, то при перезаписі імпульсів виникає проковзування, а це означає, що втрачається або вводиться відповідно 256(512)біт інформації.

Еластична пам'ять реалізується як кільцевий буфер з циклічним доступом. Якщо буфер спорожняється (тобто адреси запису та зчитування зміщуються в пам'яті, так як адреса зчитування “обганяє” адресу запису), то деяка кількість байт передається повторно. Якщо буфер переповнюється (тобто, адреса запису і зчитування зміщуються в пам'яті, так як адреса запису “обганяє” адресу зчитування), то деяка кількість байт видаляється і втрачається. Повторення або втрата цілого числа циклів, що дозволяє зберегти циклову синхронізацію і обмежити втрати даних, називають контрольованими проковзуваннями.

#### 2.2.4 Розрахунок проковзувань в залежності від точності і стабільності сигналів синхронізації

При планування мережі прагнуть до зниження частоти проковзувань. При цьому за одиницю часу можна прийняти, наприклад, одну годину або один день. В будь-якому випадку ця величина повинна бути задана. Число проковзувань прямо пропорційне різниці частот запису і зчитування  $\Delta f = |F_w - F_r|$ .

Частота проковзувань визначається виразом

$$N(t) = x(t)/T_u = x(t)F_u, \quad (6)$$

де  $x(t)$  - різниця фаз сигналів запису і зчитування.

$T_u = 1/F_u$  - тривалість і відповідно частота слідування циклів. Нагадаємо, що

$$x(a) = \int_0^a y(t)dt.$$

Розглянемо розрахунок проковзувань на конкретних прикладах. У першому з них розглядається розрахунок проковзувань при постійному зсуві частот, без дрейфу  $y(t) = y_0$ ; у другому – при відсутності початкового зсуву частоти та наявності  $y(t) = Dt$ . У третьому прикладі розглянемо загальний випадок наявності початкового зміщення та дрейфу сигналу.

Приклад 1. Нехай відносна точність частоти складає  $y_0 = 5 \times 10^5$ . При цьому вважається, що частота абсолютно стабільна на протязі всього часу, тобто дрейф дорівнює нулю. Визначимо з якою частотою будуть відбуватися проковзування. Отримаємо:

$$N(t) = x(t)F_u = y_0 t F_u \quad (6,a)$$

З останнього виразу момент настання  $n$ -го проковзування  $t_n$  представимо як:

$$t_n = nT_u / y_0 \quad (6,b)$$

Розрахувавши отримаємо, що перше проковзування виникне в момент  $t_1 = 1 \times 1.25 \times 10^{-4} / 5 \times 10^5 = 2.5$  с, наступне в момент  $t_2 = 5$  с і т.д., тобто проковзування будуть відбуватися з періодом 2,5с. Якщо взяти відносну точність  $y_0 = 5 \times 10^{-8}$  (на три порядки краще), то отримаємо, що  $t_1 = 0.2 \times 10^8 \times 1.25 \times 10^{-4} = 2.5 \times 10^4 \approx 7$  год, тобто проковзування будуть проходити приблизно через 7 годин. Аналогічно для  $y_0 = 1 \times 10^{-9}$  отримаємо  $t_1 = 10^9 \times 1.25 \times 10^{-4} = 1.5 \times 10^5$  с  $\approx 1$  день 10 год. 43 хв. 20 сек.

На рис. 8 та 9 показані результати розрахунку моментів настання проковзувань при значеннях  $y_0 = 1 \times 10^{-9}$  та  $y_0 = 1 \times 10^{-11}$  у вигляді графіків залежності кількості проковзувань від часу.

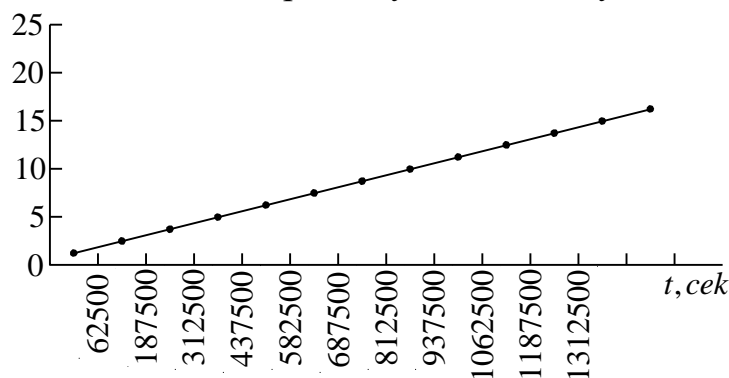


Рисунок 8 - Виникнення проковзувань при стабільності частоти  $y_0 = 1 \times 10^{-9}$

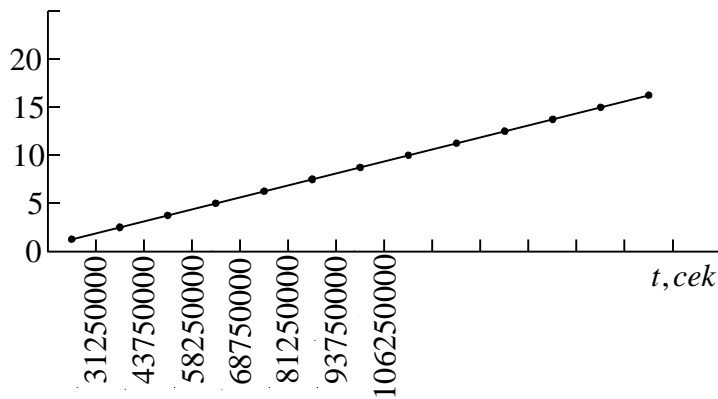


Рисунок 9 - Виникнення проковзувань при стабільності частоти  $y_0 = 1 \times 10^{-11}$

У наступному прикладі початковий зсув частоти відсутній ( $y_0 = 0$ ), але присутній дрейф частоти, який, як вже зазначалося приймають лінійним.

Приклад 2. Нехай відносна точність частоти  $y_0 = 0$ , а лінійний дрейф частоти проходить зі швидкістю  $D = 10^{-9} / \text{день} = 1,57 \times 10^{-14} / \text{с}$ . Тоді

$$x(t) = \int y(t) dt = D \int_0^t t dt = Dt^2 / 2. \text{ Отримаємо}$$

$$N(t) = Dt^2 / 2F_u, \quad (6,в)$$

а відповідно моменти настання проковзування отримаємо з останнього виразу:

$$t_n = [(2n) / (DF_w)]^{1/2} \quad (6,г)$$

Перше проковзування відбудеться в момент:

$$t_1 = [2.5 \times 10^{-4} / 1.57 \times 10^{-14}]^{1/2} = [(2.5 / 1.57) \times 10^{10}]^{1/2} = 2.01 \times 10^5 \text{ с}.$$

При наявності дрейфу частоти  $D$  та початкового зміщення  $y_0$  розходження поточної і початкової частоти приймає значення  $y(t) = y_0 + Dt$ , а різниця фаз:  $x(t) = y_0 t + 1/2 Dt^2$ . Кількість проковзувань визначається як:

$$N(t) = x(t) / T_u = (y_0 t + 1/2 Dt^2) / T_u \quad (6,д)$$

Перетворивши цей вираз, отримаємо квадратне рівняння

$$Dt^2 + 2y_0 t - 2nT_u = 0,$$

розв'язуючи яке відносно  $t$  для різних  $n$ , отримаємо вираз для моментів настання проковзування:

$$t_n = [-2y_0 \pm (4y_0^2 + 8Dn \times T_u)^{1/2}] / 2D. \quad (7)$$

Приклад 3. Нехай відносна точність частоти  $y_0 = 5 \times 10^{-10}$ , а лінійний дрейф частоти  $D = 10^9$  за добу ( $1.1574 \times 10^{-14} / c$ ). Визначимо момент настання першого проковзування. З останньої формули отримаємо  $t_1 = -4.32 \times 10^4 \pm \sqrt{(4.32 \times 10^4)^2 + 2.16 \times 10^{-10}} = 1.1 \times 10^5 c$  - 1 доба 6 годин 33 хвилини 7 секунд. Аналогічно розраховуємо час 2-го, 3-го і т.д. проковзування.

На рис. 10 показані графіки всіх розглянутих вище випадків.

Необхідно пам'ятати про те, що приведені результати являються всього лише оцінками, отриманими після ряду припущень, тобто мають досить приблизний характер. На практиці отримані дані будуть відрізнятися в той чи інший бік в силу випадкових або детермінованих факторів.

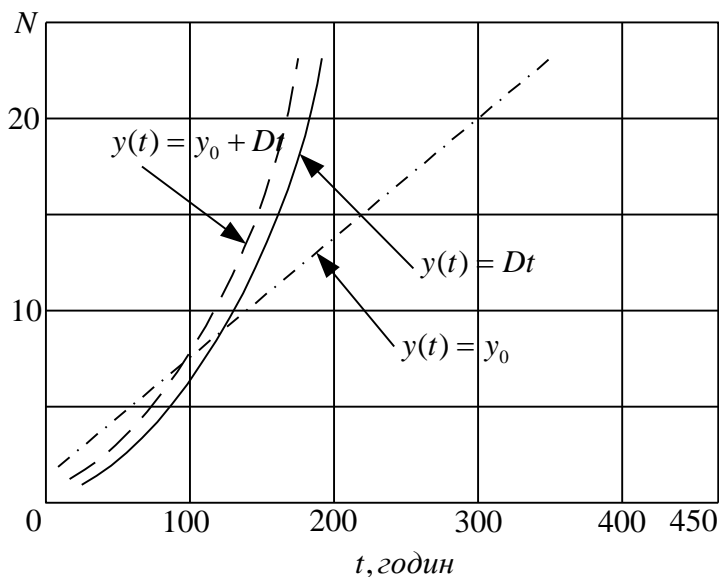


Рисунок 10 - Залежність кількості проковзувань  $N$  від точності і нестабільності

### 2.2.5 Вплив проковзувань на якість передавання різних видів інформації

Вплив проковзувань різний для різних видів передаваної інформації (видів послуг) і залежить від ступені надлишковості повідомлень.

Ефект проковзувань в мовному сигналі, перетвореному в цифрову форму, полягає інколи в відсутніх клацаннях. Через високу надлишковість мовних повідомлень вплив проковзувань невеликий. Одиначне проковзування створює лише один помилковий імпульс в декодованому аналоговому сигналі, котрий можна і не почути. Відчутне клацання в ЦСП з ІКМ виникає тільки 1 раз приблизно з 20-25 випадків, тобто допустиме число проковзувань при передачі мови  $N_{пр.дон} = 25N_{пр.відчут}$ .

Сигнали передачі даних мають значно меншою надлишковістю, ніж мова. Тому помилки передачі виявляються і усуваються пристроями захисту від помилок апаратури передачі даних. Одне проковзування створює тільки затримку передачі даних. Тому до передачі даних на швидкостях 60, 1200, 2400, 4800 Бод по цифровим каналам на 64 кбіт/с не пред'являють високих вимог.

При передачі сигналів управління та взаємодії станцій, наприклад між різними КС або абонентом і КС, проковзування можуть спричинити помилки, і як наслідок, не вірне встановлення з'єднання або передчасне роз'єднання.

В таблиці 1 приведені дані про вплив проковзувань на різні види повідомлень, що передаються по цифровій мережі.

В залежності від методу кодування одне проковзування при передачі нерухомих зображень викликає зсув строки. При цьому окреме проковзування може спотворити все зображення і вимагати повторення передачі.

Незалежно від виду послуг зв'язку одиничне проковзування, як правило, не відчутне. Якщо проковзування повторюються регулярно або пакетами, тільки тоді користувач помічає зниження якості передачі.

Кожному виду переданої інформації відповідає допустима кількість проковзувань. При проектуванні слід встановити максимально допустиме заплановане число проковзувань для синхронізації мережі.

Таблиця 1 - Вплив проковзування на передану інформацію

Вид передачі	Вплив проковзування
Мова, не стиснута	Тільки 4-5% проковзувань приводять до відчутного клацання
Мова, стиснута	Прокковзування може призвести до відчутного клацання
Канал сигналізації	Можливі помилки або розірвання з'єднання
Дані в каналі ТЧ - модем	Прокковзування може призвести до втрати даних на декілька секунд
Факсимільна передача	Прокковзування може зтерти декілька строк
Зображення стиснуте	Втрата декількох строчок. Багаточисленні проковзування можуть призвести до блокування кадрів на кілька секунд
Дані, зашифровані	Прокковзування знижують пропускну здатність, можлива втрата ключа, що знижує стійкість системи

### 2.2.6 Допустима величина проковзувань

Допустима (запланована) величина проковзувань в національній телефонній мережі залежить від виду послуг, при цьому слід враховувати послуги, заплановані на майбутнє. Для мережі загального користування максимально допустима кількість проковзувань визначається по самому найбільш чутливому до проковзувань виду послуг зв'язку.

Наприклад, для телефонної передачі прийнятний інтервал часу між сусідніми клацаннями можна прийняти рівним тривалості однієї телефонної розмови, тобто приблизно близько 5 хвилин, тоді як середнє значення проковзувань за одну годину (для 12 п'ятихвилинних інтервалів) складає:

$$N_{пр.дон} \times 12 = 25 \times 12 = 300.$$

Рекомендація G.822 для якості передачі категорії (а) допускає не більше 5 проковзувань за добу на протязі не більше 98,9% часу спостереження, рівного або що перевищує один рік (тобто, не менше  $\approx 360$  діб, а в середньому п'ять по 72 доби). Для категорії (б) допускається більше 5 проковзувань за добу протягом менш, ніж 1% часу спостереження.

Для міжнародних цифрових мереж, що працюють в плезіохронному режимі, для каналу E0 (64 кбіт/с) у кожній комутаційній станції допускається максимально одне проковзування за 72 доби. Як отримано це число? І як користуватися рекомендаціями G.822? Для відповіді ще раз ретельно переглянемо особливості розрахунку проковзувань.

Для оцінки числа проковзувань використовують формули 6-бд, 7. При цьому частіше всього нехтують дрейфом частоти і враховують тільки зсув частот. При цьому зазвичай вираз ба представляють у вигляді:

$$N = y_o F_u \times 86400 = y_o 8 \times 8.64 \times 10^7 = y_o \times 6.912 \times 10^8 \quad (8)$$

де  $F_u = 8$  кГц – швидкість проходження циклів;

86400 – кількість секунд за добу;

$y_o$  - відносна нестабільність частоти.

Мінімальна точність частоти, тобто максимальний зсув частоти відносно скоординованого світового часу (UTC) для первинних пристроїв синхронізації складає  $10^{-11}$ . В таблиці 2 в другому стовпчику приведене допустима кількість проковзувань при заданій відносній точності (різниці частот)  $y_o$ .

Максимальна різниця частот між двома будь якими первинними пристроями синхронізації дорівнює  $2y_o = 2 \times 10^{-11}$ , а максимальна частота проковзувань між двома мережами, синхронізованими цими генераторами, дорівнює 1 в 2,4 місяці при швидкості слідування 8000 циклів в секунду. У останньому стовпчику таблиці 2 приведено розрахункове значення кількості проковзувань між двома мережами, в кожній з яких підтримується указана в першому стовпчику точність.

Таблиця 2

$y_o$	Частота проковзування при швидкості слідування циклів 8 кГц	
	На одній комутаційні станції	Між двома мережами
$10^{-11}$	1 проковзування в 4,8 місяця	1 проковзування в 2,4 місяця
$10^{-10}$	1 проковзування за 14,5 доби	1 проковзування за 7,5 доби
$10^{-9}$	1 проковзування за 1,45 доби	1 проковзування за 0,725 доби
$10^{-8}$	6,9 проковзування за добу	13,8 проковзування за добу
$10^{-7}$	2,9 проковзування за годину	5,4 проковзування за годину
$10^{-6}$	28,8 проковзування за годину	56,8 проковзування за годину
$10^{-5}$	4,8 проковзування за хвилину	9,6 проковзування за хвилину

У з'єднаннях, в яких використовуються первинні пристрої синхронізації з довготривалою точністю  $10^{-11}$  при наявності більш, ніж 2 вузлів (фрагментів мережі), синхронізованих від різних пристроїв з якістю, рівною якості первинного пристрою (тобто  $10^{-11}$ ), номінальна частота проковзування зростає і визначається за формулою:

$$l \text{ проковзування} \sim 72/(n-1), \text{ д\iб} \quad (9)$$

де  $n$  – кількість первинних задаючих генераторів, що приймають участь в з'єднанні або кількість регіонів, які “ведуть” ці генератори. Іншими словами,  $(n-1)$  дорівнює числу ділянок між генераторами.

Розглянемо використання виразу 9 на конкретному прикладі.

Приклад 3. Нехай з'єднання в межах національної мережі проходить через 3 вузла трьох зон синхронізації з окремими первинними задаючими генераторами. Узгодження цифрового потоку в кожний напрямок буде проходити двічі: на другій і третій станціях (на другій синхронізуються цифровий потік від першої станції, на третій – від другої). В зворотньому напрямку узгодження потоків відбувається на другій та першій станціях). Таким чином,  $(n-1)=2$ , а з 12,19 знайдемо, що 1 проковзування буде проходити через  $72/2=36$  годин.

Приклад 4. Розглянемо роботу мережі з чотирма комутаційними станціями  $n=4$ [5] з точністю задаючих генераторів  $y_0 = 1 \times 10^{-9}$ . З таблиці 2 або прикладу 1 знаходимо, що між кожними двома станціями одне проковзування проходить через 0,725 доби або 62500 сек. При заданій структурі мережі з'єднання можна встановити максимум через три комутаційні станції  $(n-1)=3$ . Тому в повному з'єднанні 1 проковзування буде виникати через кожні  $62500/(n-1)=62500/3=20833,33$  сек.  $\approx 5$  годин 47 хвилин 13 сек.

При використанні примусової синхронізації з одним ведучим генератором на мережі з кількох станцій, що є веденими теоретично, число проковзувань дорівнює нулю. Але на практиці слід враховувати несправності, обумовлені пошкодженнями ведучого пристрою синхронізації або пошкодження з'єднань між станціями. У цих випадках при втраті сигналу від ведучого генератора пристрої, що є веденими переходять в плезиохронний режим. Тактові частоти можуть незначно відрізнитися один від одного, і кількість проковзувань зростає. Тому необхідно вибрати допустиме число проковзувань і сформулювати вимоги до частоти збоїв в синхронізації. Якщо, наприклад, допускається одне проковзування за 5 годин 47 хвилин в мережі з 4 станцій, то розв'язуючи задачу, обернену приведеній в прикладі 3, отримаємо необхідну точність  $y=10^{-9}$ . Залежність між готовністю станцій і каналів синхронізації: може бути виражена як:

$$0.989 \approx K^N \times k^n \times l^z; \quad (10)$$

де  $K, k, l$  - коефіцієнти готовності первинних пристроїв синхронізації, вузлових генераторів і ліній в з'єднанні, а  $N, n, z$  - відповідно їх кількість в з'єднанні. Для відповідності характеристикам категорії (а) G.822, готовність кожного первинного пристрою синхронізації і лінії повинна бути набагато більше 0,989 (типове значення дорівнює 0,9995).

### **2.2.7 Синхронізація мереж NGN**

Розвиток телекомунікаційних технологій і мереж передачі даних поступово приводить до побудови операторами зв'язку конвергентних мереж наступного покоління NGN - Next Generation Networks (Рекомендації ITU-T Y.2001, Y.2011). Основна відмінність таких мереж від традиційних мереж із синхронною цифровою ієрархією (SDH) - у них для магістральної передачі даних, поряд зі звичайними синхронними каналами, використовуються такі асинхронні технології, як Ethernet (Gigabit Ethernet, logigabit Ethernet). Головною вимогою операторів зв'язку до мереж наступного покоління є одночасна передача голосу, відео й даних по єдиній мережі.

При переході від традиційних мереж передачі даних, заснованих на часовому мультиплексуванні, до мереж NGN особлива увага приділяється передачі сигналів синхронізації з кількох причин.

По-перше, основою NGN служить конвергентне транспортне середовище на основі комутації пакетів, яка руйнує синхронізацію.

Друга причина криється в тому, що багато традиційних послуг вимагають доставки сигналів синхронізації до кінцевого й абонентського обладнання, а оскільки мережа з комутацією пакетів руйнує синхронізацію, те її оператор повинен знати, чи правильно вона працює в тих випадках, коли надає послуги, чутливі до якості синхронізації.

По-третє, проблема виникає через те, що в класичних телефонних мережах загального користування синхронізація необхідна для того, щоб на загальній частоті 8 кГц виконати аналого-цифрове перетворення інформації на передачі й цифро-аналогове - на прийманні.

Четверта причина впливає з такого розмежування: якщо синхронізація не частина технологічного процесу, то її необхідно вводити у вигляді послуги.

#### ***Способи синхронізації мереж NGN***

Існує безліч прикладів локальної синхронізації обладнання. Так, наприклад, у станційному приміщенні розмішують недороге джерело первинної синхронізації (PRS) на основі GPS і розподіляють від нього тактову частоту за допомогою безпроводових технологій або по звичайним виділеним кабелях, у фізичному середовищі Ethernet, а також за допомогою інших схем. Якщо побудова мережі синхронізації (або використання стиків синхронізації) неможлива або небажана, то застосовують найпростіший, але проблематичний з міркувань стабільності адаптивний спосіб узгодження швидкостей приймання й передачі (рис.3).

Результати проведених досліджень показують, що адаптивний спосіб можна застосовувати, якщо абонент не пред'являє строгих вимог до стабільності своєї тактової частоти, а якщо ні, то необхідно додаткове апаратне



згладжування відновленого синхросигналу. Альтернативною адаптивному методу є використання протоколу RTP при інкапсуляції даних з часовим мультиплексуванням у пакети асинхронних даних (рис.4). Як показали експерименти, у цьому випадку при високій стабільності відновленого синхросигналу обладнання виявляється слабкочутливим до зміни частоти на джерелі синхронізації, що є необхідним, наприклад, у стільникових мережах при переході на резервний синхросигнал.



Рисунок 2.1 – Синхронізація від єдиного опорного джерела



Рисунок 2.2 – Синхронізація з використанням власної тактової частоти абонентського обладнання



Рисунок 2.3 – Адаптивна синхронізація

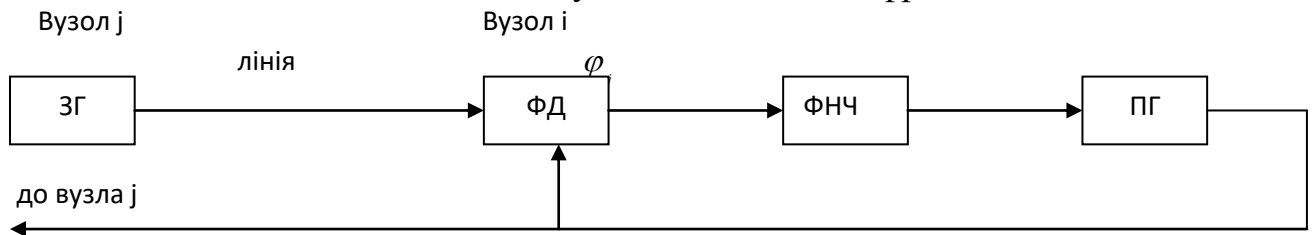


Рисунок 2.4 – Передача синхронізації за допомогою RTP

## 2.3 Методи синхронізації мереж та цифрового комутаційного обладнання

### 2.3.1 Взаємодія вузлів мережі.

Розглянемо взаємодію двох вузлів, з'єднаних цифровою лінією.



ЗГ – задаючий генератор;

ФД – фазовий детектор (порівнює фазу вхідного сигналу і тактового і при їх розходженні видає сигнал помилки);

ФНЧ – фільтр низької частоти (згладжує випадкові відхилення сигналу похибки);

ПГ – підстроюємий генератор

ЗГ ведучого вузла  $j$  управляє генератором веденого вузла  $i$ . Приймальне обладнання синхронізації вузла  $i$  передбачається виконаним у вигляді пристрою ФАПЧ (ФД, ФНЧ, ПГ). Сигнал, управляючий частотою ПГ (сигнал похибки) вузла  $i$ , пропорційний різниці фаз сигналів на входах ФД:

$$\Delta\varphi_{ij} = (\varphi_j - \varphi_i) - \omega\tau_{j,i},$$

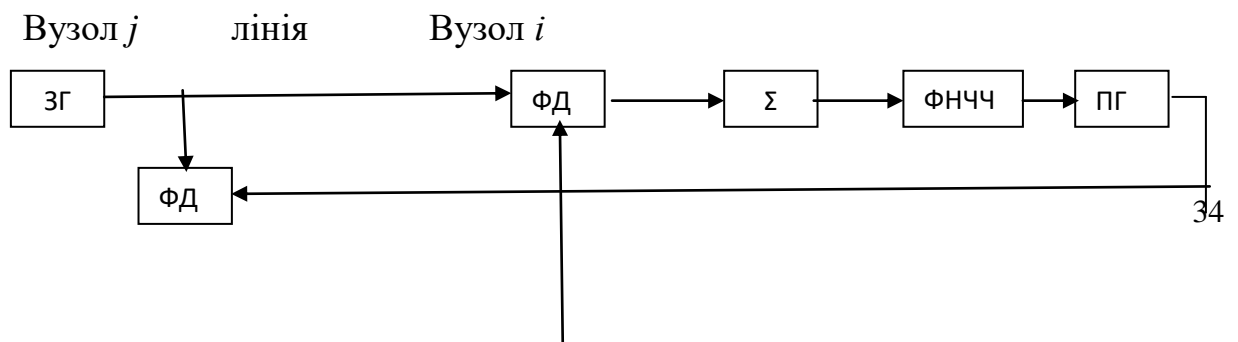
де  $\varphi_j$  та  $\varphi_i$  - початкові фази вихідних сигналів генераторів вузлів  $j$  та  $i$ ;

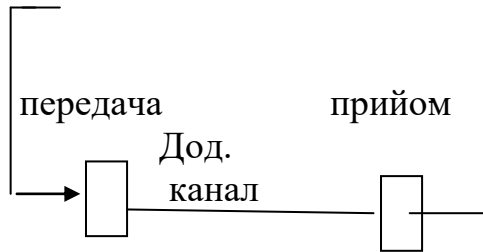
$\tau_{j,i}$  - затримка синхросигналу при передаванні його від вузла  $j$  до вузла  $i$ ;

$\omega$  - кругова частота сигналу.

Управляючий сигнал залежить від  $\tau_{j,i}$ . Така синхронізація вузла  $i$  називається однокінцевою.

При двокінцевій синхронізації управляючі сигнали  $\Delta\varphi_{i,j}$  та  $\Delta\varphi_{j,i}$  вимірюються на кожному з двох вузлів. Результати вимірювань, отримані на ведучому вузлі  $j$ , передаються на ведений вузол  $i$  по додатковому службовому каналу.





На вузлі  $i$  для управління генератором використовується напіврізниця результатів цих вимірювань:

$$\Delta\varphi_{ij} = \frac{1}{2}(\Delta\varphi_{i,j} - \Delta\varphi_{j,i}) = \frac{1}{2}(\Delta\varphi_j - \Delta\varphi_i) - \omega \frac{\tau_{ij} - \tau_{ji}}{2}.$$

Якщо припустити, що затримка синхросигналу  $\tau$  і фази генераторів змінюються досить повільно, то зміною зазначених параметрів можна знехтувати на протязі проміжку часу, необхідного для передачі результатів по додатковому каналу. Тоді при рівності  $\tau_{ij} = \tau_{ji}$  відбувається компенсація впливу затримок на управляючий сигнал.

В розглядуваних випадках синхронізація вузлів, підстроювання частоти генератора здійснюється тільки на одному з двох вузлів. Таке управління генераторами називається одностороннім, а способи синхронізації відповідно – одно- та двокінцева синхронізація з одностороннім управлінням.

При двосторонньому управлінні підстроювання частоти генератора відбувається на кожному з двох взаємодіючих вузлів.

Двостороннє управління використовується більше при взаємній, а одностороннє – при примусовій синхронізації вузлів цифрової мережі.

### 2.3.2 Взаємна синхронізація вузлів мережі

При взаємній синхронізації (ВС) кожен генератор управляє всіма іншими генераторами мережі.

Багатовходовий пристрій ФАПЧ, який встановлюється на кожному вузлі мережі при однокінцевій ВС.

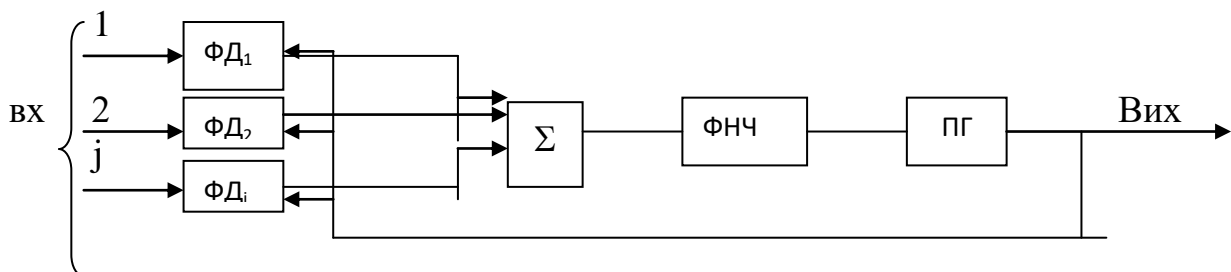


Рисунок -

Тактові сигнали добуваються з декількох цифрових ліній, які підходять до вузла з різних напрямків. Кожен здобутий сигнал порівнюється по фазі з сигналом місцевого генератора. Результати порівняння усереднюються і

використовуються для підстроювання частоти місцевого генератора. Усереднення результатів може виконуватися як з однаковими, так і з різними коефіцієнтами для кожного з напрямків. В першому випадку ВС наз. демократичною (або з рівнонаправленим зважуванням), в іншому випадку – ієрархічною.

Відмінна особливість мережі ВС - відсутність в ній центрального ведучого генератора, причому після її дроблення кожна із збережених частин залишається життєздатною, але можливості такої мережі не завжди відповідають поставленим вимогам.

При ВС частота усталених коливань залежить від особистих частот всіх генераторів. Тому при корекції цієї частоти не можна задовольнитись підстроюванням одного генератора, а вимагається одночасне підстроювання відразу кількох генераторів, розміщених в різних пунктах. Крім того, для ВС характерна наявність петель зворотнього зв'язку.

Взаємна синхронізація знайшла застосування на локальних (ізольованих) мережах.

### **2.3.3 Примусова синхронізація**

Примусова синхронізація застосовується на цифрових мережах промислово розвинутих країн.

Частота синхронізації задається одним з ведучих генераторів.

- *Синхронізація з переключенням на резервні лінії по завчасно записаній програмі*

Синхронізація будується з одностороннім управлінням від вузлів вищого до вузлів нижчого рангу. При цьому забороняється синхронізація вузлів вищого рангу від вузлів нижчого або рівного рангу. Це виключає утворення петель зворотного зв'язку на цифровій мережі.

Синхросигнали, які приходять до веденого вузла по різним шляхам, відрізняються по якості. Сигнал вищої якості надходить від ведучого генератора по найкоротшому шляху через мінімальну кількість проміжних вузлів можливо більш високого рангу.

Наприклад, у вузол D такий сигнал надходить по шляху А-D. До наступного по якості належить А-B-D, потім А-C-D, по якому синхросигнал проходить через проміжний пункт другого рангу і більш довгому шляху.

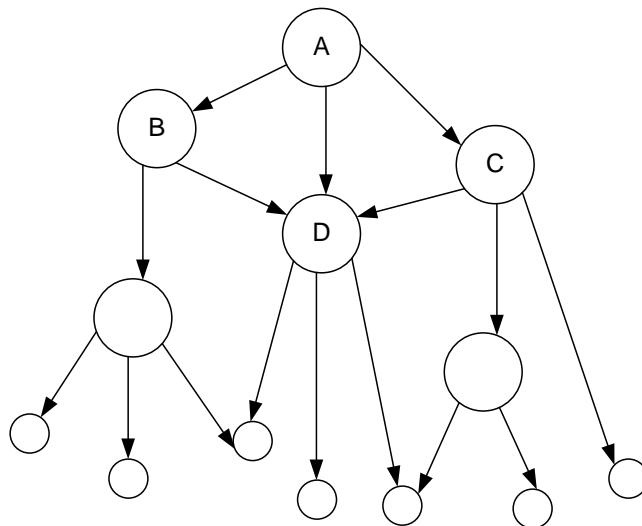


Рисунок – Примусова синхронізація з переключенням на резервні лінії по завчасно записаній програмі

Центральний ведучий вузол, в який стікається інформація про стан мережі, повинен визначити оптимальні шляхи синхронізації при кожній зміні ситуації на мережі і надсилати відповідні команди перемикавання на всі ведені вузли.

В нормальних умовах кожен ведений вузол синхронізується з сигналом найвищої якості. У випадку його зникнення відбувається перемикавання його на роботу від сигналу найвищої якості з числа тих, що залишилися, по заздалегідь складеній для кожного вузла програмі.

Даний спосіб простий в реалізації і при однокінцевій синхронізації не потребує додаткових службових каналів для обміну інформацією між вузлами. Але відмова від використання зв'язків між вузлами рівного рангу може понизити надійність синхронізації.

Для вирішення цієї проблеми використовуються системи з самоорганізацією.

*- синхронізація з самоорганізацією*

Кожному вузлу мережі надається номер, який визначає положення вузла в ієрархії мережі. Між вузлами передаються синхрокомбінації з трьох чисел:

- 1 - № ведучого вузла;
- 2 – кількість вузлів;
- 3 - № вузла, попереднього даному.

В автономному режимі роботи всі вихідні від вузла комбінації мають вигляд: ХОХ, де Х – номер вузла; О – вказує на відсутність вузлів на шляху проходження синхросигналу.

На кожному вузлі мережі відбувається порівняння всіх кодових комбінацій, які надійшли і власної. Найменша з комбінацій записується в пам'ять. Вузол переходить з автономного режиму роботи в режим примусової синхронізації (ПС) з напрямком, по якому надійшла комбінація з найменшим значенням. Якщо ж після порівняння виявиться, що всі комбінації, які надійшли

більші за власну, то вузол продовжує працювати в автономному режимі і надсилає сусіднім вузлам комбінації ХОХ.

З вузла, який перейшов у режим ПС, на всі сусідні вузли передається змінена комбінація:

1-ше число - без зміни;

2-ге – збільшується на 1;

3-є – замінюється номером даного вузла.

При цьому ведучим є вузол з найменшим номером, а кожен ведений зв'язаний з ним по найкоротшому шляху через вузли самого високого рангу.

- *синхронізація з одночасною обробкою синхросигналів*

Синхросигнали від всіх чи декількох цифрових ліній надходять на багатовходовий пристрій ФАПЧ. До кожного ФД підводиться свій синхросигнал. Вихідні сигнали ФД додаються і сумарний використовується для управління частотою місцевого генератора.

При відмові однієї чи кількох ліній вузол синхронізується по лініям, які залишилися в роботі або навіть по одній.

Недолік: необхідно приймати додаткові заходи для виключення петель зворотнього зв'язку на мережі.

- *синхронізація по одній лінії (з переходом в автономний режим)*

Інформація і синхросигнал надходять на кожен ведений вузол по єдиній лінії. У випадку її відмови генератор веденого вузла переходить в автономний режим і стає ведучим у своєму регіоні. З втратою синхронізації зв'язок з рештою мережі втрачається.

У всіх розглянутих способах ПС, у випадку вичерпання всіх закладених можливостей для отримання синхросигналів ззовні, передбачається перехід вузлів і станцій в автономний режим. Згідно рекомендацій МСЕ припускається тільки короткочасна робота в таких аварійних режимах.

### **2.3.4 Синхронізація цифрового комутаційного обладнання по аналоговим і цифровим системам передачі**

Оснoву електрозв'язку складають системи передавання повідомлень – транспортна мережа і комутаційні станції. Тому при переході від аналогових до цифрових мереж слід враховувати роль синхронізації.

1 – й етап синхронізації – аналогові системи комутації і передавання. Аналоговим ручним, а потім і автоматичним комутаційним станціям була не потрібна мережева синхронізація, але виконання повільних, з сучасної точки зору, процесів, вимагало координації в часі. Як синхронізацію роботи КС можна розглядати посилку сигналу «Відповідь станції», затримку при наборі цифр номера та ін.

Вимоги до точності і стабільності генераторного обладнання аналогових систем передачі (АСП) в основному визначаються якістю передачі мови і видом модуляції - односмугової, з подавленою несівною. Вуха не чутливе до розходження частот несівних приблизно до 10 кГц. Проблема двох генераторів в даному випадку вирішується просто: норми МККТТ рекомендують не перевищувати різницю несівних частот в з'єднанні будь якої протяжності ( $\approx 12500$  км) не більше  $\pm 2$  Гц.

2 – й етап – 1 варіант – аналогові системи комутації і цифрові системи передавання. На ЦСП використовуються регенератори, АЦП, ЦАП.

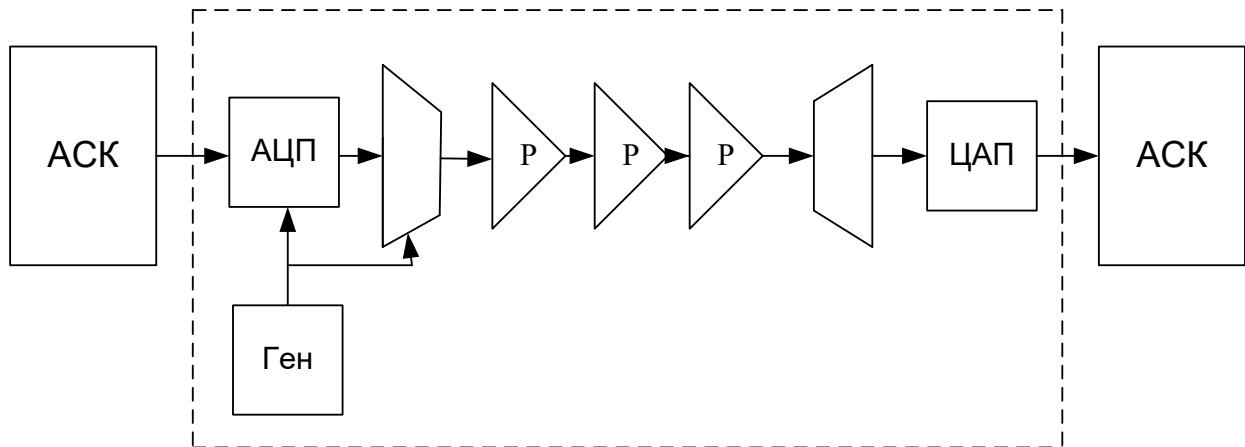


Рисунок -

Для цього етапу актуальними є питання підвищення захищеності регенераторів від перешкод, зниження величини джитера групи регенераторів, покращення параметрів кодування цифрових сигналів. Щодо мережі, то обмеженню підлягають число АЦП, ЦАП, так як при цьому зростають шуми квантування.

2 – й етап – 2 варіант – Цифрові системи комутації і аналогові системи передавання.

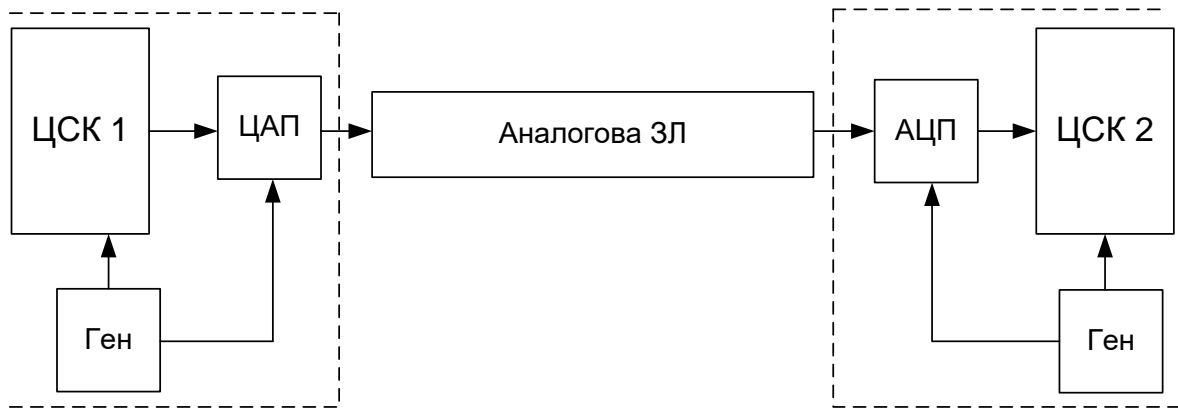
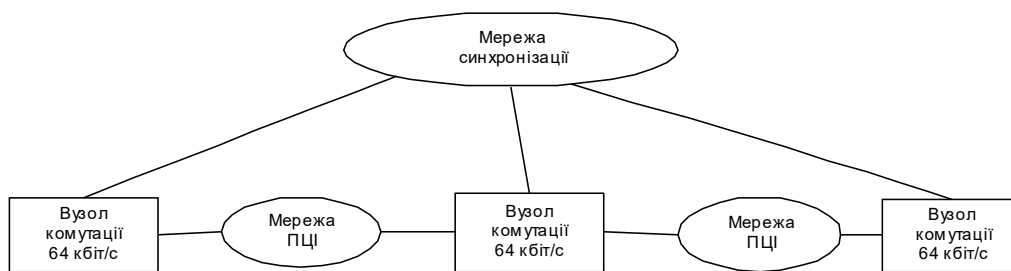


Рисунок -

При такому перехідному варіанті організації зв'язку проблем щодо синхронізації не виникало. З'єднувальні лінії – аналогові, а сигнали при перетворенні АЦП-ЦАП на кожному кінці синхронізуються від свого генератора. Проблеми двох генераторів не виникає.

3 – й етап – ЦСК і передавання плезіохронних ієрархій.

В мережах, які використовують в якості транспортної мережі ПЦ, необхідно синхронізувати мультиплексори каналів з первинними швидкостями і комутаційне обладнання (64 кбіт/с) в той час, як транспортні мережі ПЦ не потребують синхронізації.



Розглянемо синхронізацію двох цифрових вузлів комутації по лінії передавання ПЦІ. Тактовий генератор 1-ї КС працює від ведучого генератора (н-д, від ЗГ всієї мережі), так що всі сигнали 2048 кбіт/с на виході цієї станції синхронні. Генераторне обладнання 2-ї КС синхронізується від одного з цих сигналів 2048 кбіт/с (він може нести звичайне корисне навантаження), який виділено для передавання синхросигналу, що мультиплексується з іншими сигналами і передається через лінію передачі ПЦІ від 1-ї КС до 2-ї.

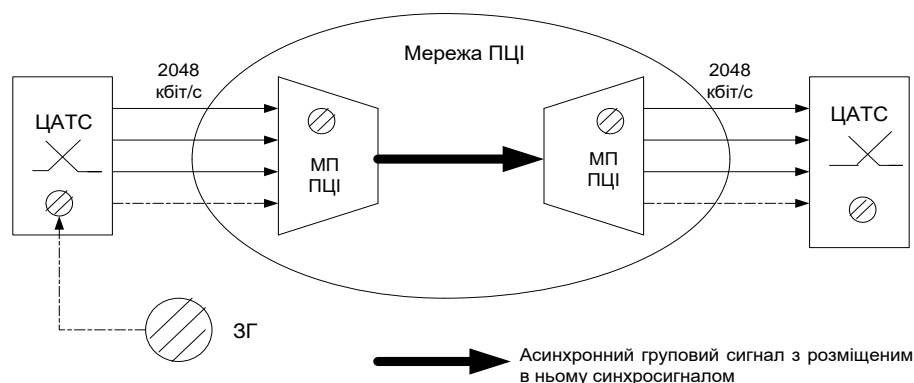


Рисунок -

В основі методу лежить мережа синхронізації, яка використовує ідею станційного генераторного обладнання, тобто веденого генератора, який обслуговує все станційне обладнання, роздаючи синхросигнали всім типам обладнання, розміщеного на КС.

Інша схема, в ній генераторне обладнання 1-ї КС синхронізується від місцевого виділеного генераторного обладнання, яке отримує синхросигнал від ведучого генератора і розподіляє його по обладнанню 1-ї КС. Генераторне обладнання 2-ї КС не синхронізується безпосереднього від сигналу 2048 кбіт/с, який передається через мережу синхронізації. Замість цього синхросигнал прямо подається на генератор, який розподіляє синхросигнали по обладнанню 2-ї КС.



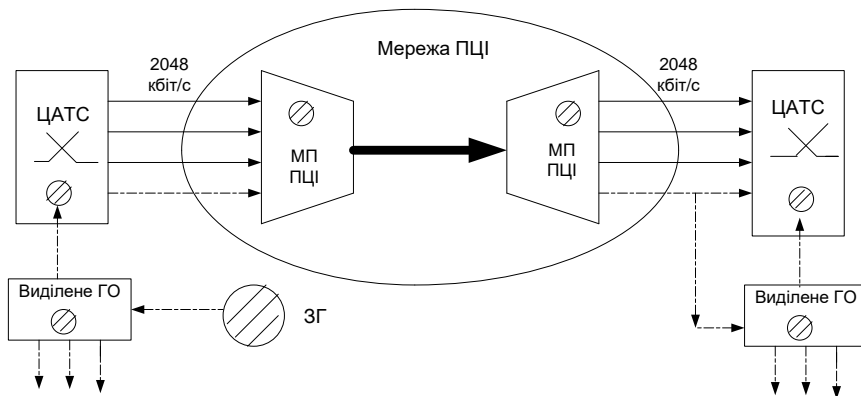
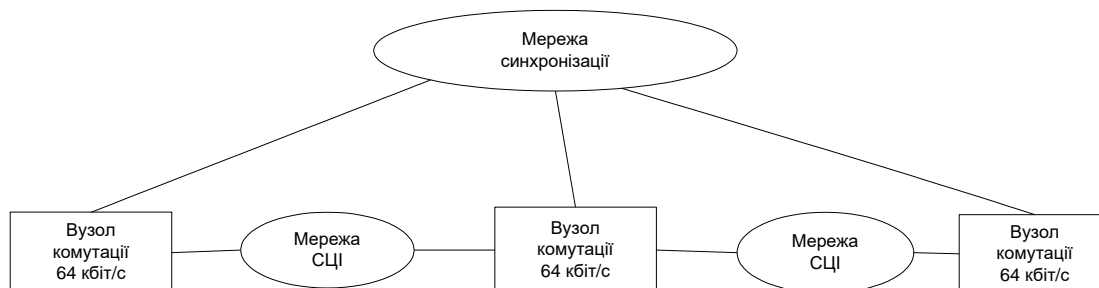


Рисунок -

На сьогоднішній день ці схеми широко використовуються у всьому світі. При розробці національних планів мережевої синхронізації для управління проковзуваннями за основу було взято описані вище дві схеми передавання синхросигналу з точки в точку, від однієї цифрової КС до іншої.

4 - й етап – ЦСК і передавання синхронних ієрархій.

В складних мережах з кількома переприйманнями ПЦІ-СЦІ та СЦІ-ПЦІ задовольнити вимоги до фазових тремтінь на межах ПЦІ/СЦІ можливо тільки при точній синхронізації всіх мережевих елементів. Тому в СЦІ необхідно синхронізувати не тільки мультиплексори і цифрове комутаційне обладнання, але і вузли транспортних мереж.



Найкращим способом передавання синхросигналу в мережі СЦІ є безпосереднє передавання в групових сигналах STM-N. На такий сигнал діє лише джитер, який вноситься лінією (н-д, джитер, обумовлений тепловим шумом і умовами навколишнього середовища в оптичній лінії), а не вирівнювання по бітам чи якісь інші перетворення. В мережах СЦІ найбільш доцільним вважається варіант схеми з виділеним генераторним обладнанням на кожній станції.

Виділений генератор 1-ї КС синхронізує не тільки генераторне обладнання КС, але і задаючий генераторобладнання СЦІ. Тут вихідний груповий сигнал є синхронним з ведучим генератором мережі в протилежність ПЦІ, де груповий сигнал був асинхронним., хоча і містив синхросигнал. На приймальній станції генератор не синхронізується безпосередньо від вхідного групового сигналу. Спеціальна функція тактового генератора обладнання СЦІ

(перемикач) дозволяє виділити тактовий сигнал з вхідного групового і безпосередньо направити його через інтерфейс синхронізації 2048 кбіт/с до генераторного обладнання на цій КС. Це обладнання розподіляє свої синхросигнали по всьому обладнанню КС, включаючи демультиплексор СЦІ.

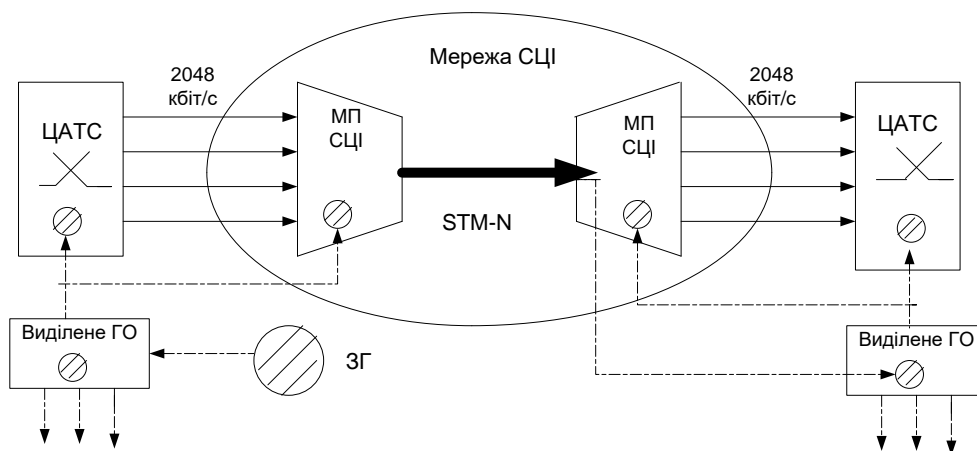


Рисунок -

Такий спосіб може здатися складним, але при ньому генераторне обладнання має більш високу стабільність і кращі можливості фільтрації, ніж прості генератори станції. Більш того, якщо груповий сигнал зникне, генераторне обладнання забезпечить достатньо довго вихідну частоту в режимі вільних коливань генератора з набагато більшою точністю, ніж точність відповідної частоти простого генератора.

## 2.4 Побудова мережі зв'язку з використанням синхронної цифрової ієрархії

### 2.4.1 Загальна характеристика синхронної цифрової ієрархії

Синхронна цифрова ієрархія дає змогу організувати універсальну транспортну систему, яка охоплює всі ділянки мережі й виконує функції передавання інформації, контролю та керування. Вона розрахована на транспортування сигналів плезіохронної цифрової ієрархії, а також усіх діючих і перспективних служб, у тому числі й широкопasmової цифрової мережі з інтеграцією служб В-ISDN, яка використовує асинхронний спосіб передавання АТМ.

У синхронній цифровій ієрархії використано останні досягнення електроніки, системотехніки, обчислювальної техніки тощо, її застосування уможливорює суттєве скорочення обсягу й вартості апаратури, експлуатаційних витрат, а також тривалості монтажу й налаштування обладнання. Разом з тим її застосування значно підвищує надійність, живучість і гнучкість мереж та якість зв'язку.

Лінійні сигнали синхронної цифрової ієрархії організовані в синхронні транспортні модулі STM, перший з яких відповідає швидкості 155 Мбіт/с, а

кожний наступний має швидкість у 4 рази вищу від попередньої й утворюється байтовим синхронним мультиплексуванням.

У мережі синхронної цифрової ієрархії використовується принцип контейнерних перевезень. Сигнали, що підлягають транспортуванню, попередньо розміщуються в стандартних контейнерах С. Всі операції з контейнерами відбуваються незалежно від їхнього вмісту. Завдяки цьому досягається прозорість мережі синхронної цифрової ієрархії, тобто можливість транспортування сигналів плезіохронної цифрової ієрархії, потоків чарунок АТМ або будь-яких нових сигналів.

Існують контейнери чотирьох рівнів (табл. 1, в якій не наведено швидкість 8 Мбіт/с європейської плезіохронної цифрової ієрархії, тому що контейнер С2 призначений для нових сигналів з неієрархічними швидкостями, наприклад чарунок АТМ).

Таблиця 1- Рівні контейнерів

Рівень	Контейнер	Швидкість транспортування сигналів плезіохронної цифрової ієрархії, Мбіт/с
1	С11	1,5
	С12	2
2	С2	6
3	С3	34; 45
4	С 4	140

Для організації трактів використовуються віртуальні контейнери VC, які утворюються додаванням до відповідного контейнера трактового заголовка РОН. Умовно можна записати, що  $VC = C + РОН$ .

Європейський стандарт не передбачає контейнер С2, а відповідний йому віртуальний контейнер VC2 призначений для транспортування нових сигналів з неієрархічними швидкостями.

Віртуальні контейнери формуються і розформовуються в точках закінчення трактів. Трактовий заголовок дає змогу контролювати якість трактів "від краю до краю" й передавати аварійну та експлуатаційну інформацію.

Важливою особливістю мережі синхронної цифрової ієрархії є поділ її на функціональні шари та підшари. Кожен нижчий шар обслуговує вищий і має певні точки доступу. Засоби контролю та керування кожного шару спрощують і операції з ліквідації наслідків відмов і знижують вплив на вищий шар. Незалежність кожного шару дає змогу впроваджувати, модернізувати або замінити його, не впливаючи на інші шари.

Найвищий шар утворює мережу каналів, якими обслуговуються кінцеві користувачі. Групи каналів об'єднуються в групові тракти різних порядків (середній шар), які організуються в лінійні тракти, що належать до нижнього шару фізичного середовища передавання. Нижній шар поділяється на підшар секцій (мультиплексних і регенераційних) та підшар фізичного середовища. Взаємозв'язок і розташування деяких шарів показані на рис. 1.

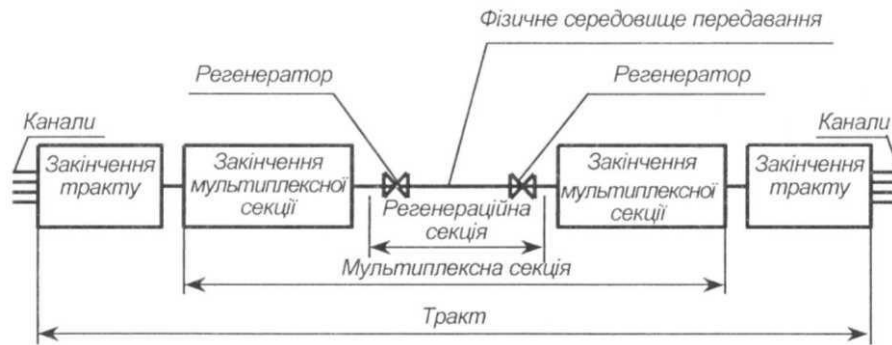


Рисунок 1 - Шари синхронної цифрової ієрархії

### 2.4.2 Апаратура мереж синхронної цифрової ієрархії

Важливою особливістю апаратури синхронної цифрової ієрархії є те, що не існує чіткого поділу на апаратуру лінійного тракту, перетворювальну, оперативного перемикавання, контролю та керування. Усі ці засоби інтегровані.

Апаратура синхронної цифрової ієрархії - програмно-керована, що є вирішальним у забезпеченні гнучкості, спрощенні експлуатації та в розвитку мереж.

Щоб забезпечити високу надійність апаратури, в ній використовують різні види резервування. Як правило, блоки живлення та інші найважливіші вузли дублюються. Для менш важливих блоків встановлюють один резервний блок на кілька однотипних основних. Можливості апаратури сприяють побудові надійних і життєздатних мереж та організації резервування на мережному рівні.

Синхронні мультиплексори заміняють цілий набір обладнання плезіохронної цифрової ієрархії. Вони не лише здійснюють мультиплексування всіх рівнів, але ще й виконують функції обладнання лінійного тракту.

На вхід синхронного мультиплексора (рис. 2) можуть надходити сигнали (електричні або оптичні) плезіохронної та синхронної цифрових ієрархій. Існують мультиплексори, які безпосередньо сприймають канали на 64 кбіт/с і мають інтерфейси для приєднання локальних мереж та для роботи в асинхронному режимі перенесення інформації АТМ та ін. З агрегатного (лінійною) боку може здійснюватися передавання зі швидкістю 155 (STM1), 622 (STM4) або 2500 (STM16) Мбіт/с.

З наведених на рис. 2 даних не випливає, що реальні типи апаратури містять усі інтерфейси. Кожен конкретний мультиплексор має лише невелику частину цих можливостей.

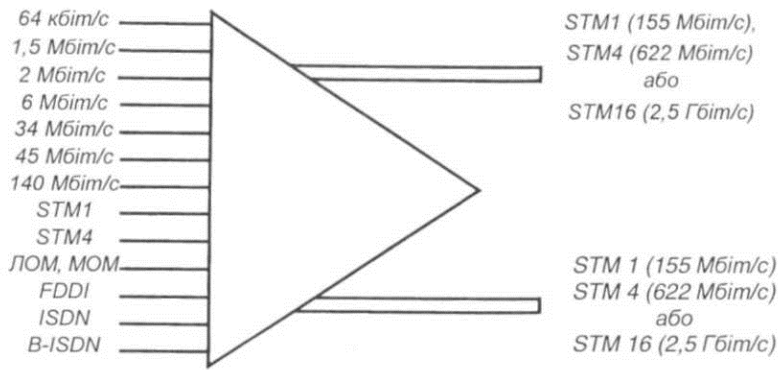


Рисунок 2 - Інтерфейси синхронних мультиплексорів

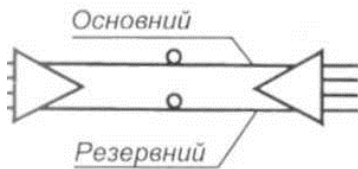


Рисунок 3 - Конфігурація "точка=точка"

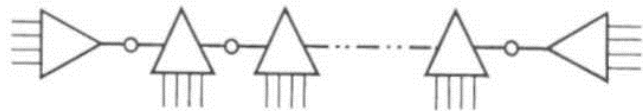


Рисунок 4 - Ланцюг введення-виведення

Рисунок -

Наявність двох агрегатних оптичних портів дає змогу за допомогою мультиплексорів будувати такі конфігурації, як "кілеце", "ланцюг", а також резервувати потоки. Багато типів мультиплексорів для резервування можуть мати чотири оптичні порти.

У конфігурації, наведеній на рис. 3, мультиплексори використовуються як кінцеві. Передавання може здійснюватися двома кабелями, один з яких є основним, а другий - резервним. Це забезпечує захист від обриву кабелю та відмови обладнання.

На іншій конфігурації (рис. 4) два мультиплексори є кінцевими, а всі проміжні - мультиплексорами введення-виведення (МВВ). Кожен з МВВ може ввести, вивести або перенести транзитом будь-який з потоків навантаження. Наприклад, МВВ 1-го рівня синхронної цифрової ієрархії може мати до 63 портів навантаження для потоків зі швидкістю 2 Мбіт/с і вводити-виводити від 1 до 63 таких потоків (рис. 5).

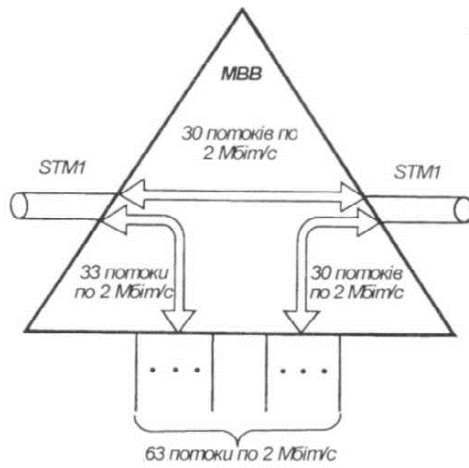


Рисунок 5 - Приклад схеми введення-виведення

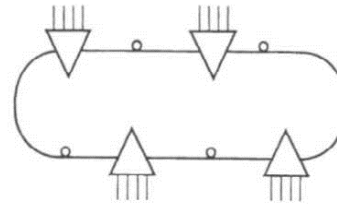


Рисунок 6 - Конфігурація "кільце"

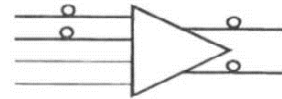


Рисунок 7 - Конфігурація, що забезпечує поєднання функцій концентратора та мультиплексора введення-виведення

## Рисунок -

Недоліком конфігурації, наведеної на рис. 4, є брак резервування. Для усунення цього недоліку служить конфігурація "кільце" (рис. 6), в якій декілька MBV з'єднані в кільце. Подібна конфігурація є однією з основних при побудові мереж синхронної цифрової ієрархії.

Мультиплексор може приймати кілька частково заповнених синхронних потоків (через оптичні або електричні інтерфейси) й об'єднувати їх в один агрегатний потік. Конфігурацію, в якій поєднуються функції концентратора та мультиплексора введення-виведення, показано на рис. 7.

*Апаратура оперативного перемикавання* служить для встановлення напівпостійних з'єднань між різними каналами й трактами. Між оперативним перемиканням і комутацією існує суттєва різниця. Під час комутації встановлюються тимчасові з'єднання на вторинній мережі, які здійснюються під керуванням абонентів мережі. При оперативному перемиканні напівпостійні з'єднання встановлюються на первинній мережі за командою мережного оператора з використанням засобів мережного керування. Проте в перспективі із впровадженням асинхронного режиму передавання інформації межі між первинною і вторинною мережами та оперативним перемиканням і комутацією стиратимуться.

На мережі синхронної цифрової ієрархії оперативне перемикавання може здійснюватися за допомогою вмонтованих пристроїв, які передбачаються в багатьох видах апаратури. Саме з використанням таких пристроїв перемикаються, наприклад, потоки в MBV (рис. 5). Отже, функції оперативного перемикавання можуть розподілятися в мережі між багатьма мережними елементами.

У багатьох випадках зручно мати спеціальну автономну апаратуру оперативного перемикавання (АОП), яка має набагато більше портів, ніж мультиплексори. За допомогою АОП можна створювати мережі з ґратчастою (ґратчастою) архітектурою.

Виділяють кілька типів апаратури АОП, які відрізняються рівнями віртуальних контейнерів, де здійснюється введення та перемикавання потоків (рис. 8).

Апаратура оперативного перемикування інформації типу 4/4 може обробляти сигнали всіх рівнів синхронної цифрової ієрархії, тобто STM1, STM4 і STM16 (відповідно 155, 622 та 2500 Мбіт/с), а також плезіохронні сигнали на 140 Мбіт/с. Перемикування здійснюється на рівні VC4.

Апаратура типу 4/1 має порти для синхронних сигналів STM1 (іноді STM4) та плезіохронних сигналів на 140 і 2 Мбіт/с. Перемикування виконується на рівнях VC4 і VC1.

Апаратура оперативного перемикування інформації типу 4/3/1 має, крім того, порти для плезіохронних сигналів на 34 Мбіт/с. Перемикування відбувається на рівнях VC4, VC3 і VC1.

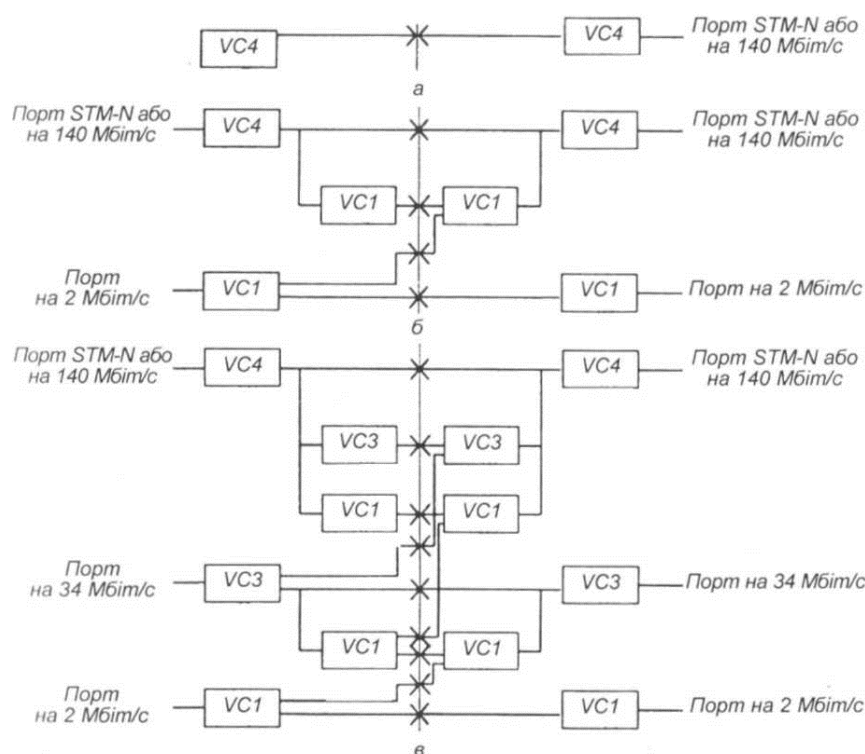


Рисунок 8 - Перемикування в апаратурі оперативного перемикування 4/4 (а), 4/1 (б) та 4/3/1 (в)

Рисунок -

Таким чином, схема, яка містить основні види апаратури синхронної цифрової ієрархії (рис. 9). У нижній частині схеми зазначено рівні плезіохронної цифрової ієрархії та відповідні швидкості, у верхній - рівні синхронної цифрової ієрархії. Ця схема не може охопити все розмаїття апаратури, що випускається різними фірмами, а показує лише найбільш поширені її види.

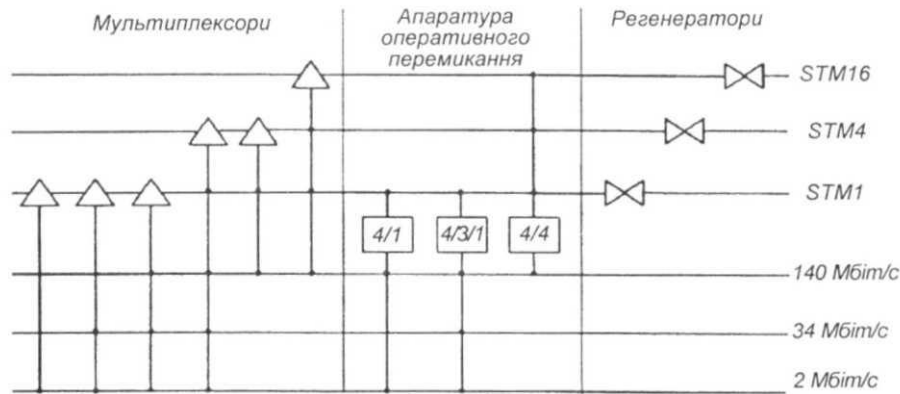


Рисунок 9 - Основні види апаратури синхронної цифрової ієрархії

### 2.4.3 Архітектура мереж синхронної цифрової ієрархії

Модель перспективної трирівневої мережної структури (рис.10) дає змогу раціональніше будувати гнучку, надійну й економічну мережу.

*Верхній (базовий, магістральний) рівень* утворюється головними вузлами, в яких встановлюється АОП 4/4. Основними одиницями, якими обмінюються ці вузли, є віртуальні контейнери VC4. Кожна лінія несе кілька STM4 або STM16. Структура мережі на цьому рівні - ґратчаста.

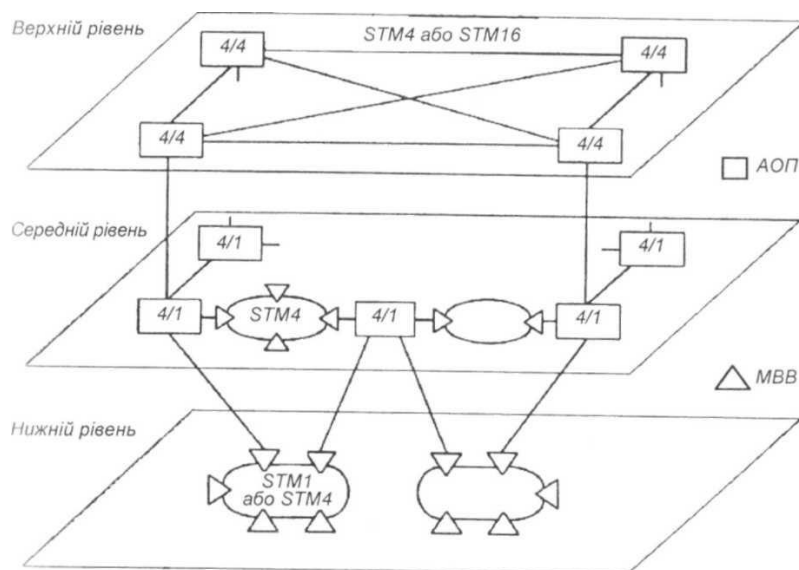


Рисунок 10 - Трирівнева архітектура мережі синхронної цифрової ієрархії

*Середній рівень* складається з кількох з'єднувальних (регіональних) мереж, кожна з яких охоплює певну територію. Вузли цих мереж обмінюються не лише віртуальними контейнерами VC4, але й дрібнішими одиницями. Тому у вузлах використовується АОП 4/1, а також МВВ. Найважливіші вузли цього рівня виходять на один або кілька вузлів верхнього рівня. Структура з'єднувальних мереж може бути як кільцевою, так і ґратчастою. В лініях організовуються тракти STM4.



*Нижній рівень* становлять мережі доступу, куди входять основні джерела і споживачі навантаження. Кожна з мереж доступу виходить на один або кілька вузлів середнього рівня. Структура мереж - кільцева.

У найзагальніших рисах функції кожного рівня можна охарактеризувати так: верхній рівень створює мережу трактів VC4, середній перерозподіляє тракти VC 12 і VC3 між VC4, а нижній забезпечує доступ до мережі користувачів.

Така ієрархічна архітектура має свої переваги, а саме:

- уможлиблює незалежний розвиток і реконструкцію кожного рівня;
- концентрує потоки навантаження, що дає змогу використовувати лінійні тракти високої пропускної спроможності (це економічно вигідно при побудові мережі);
- забезпечує виконання контролю, керування та резервування на кожному рівні, спрощує та пришвидшує ліквідацію наслідків відмов у мережі.

Описана модель дає лише загальну схему, але можливі й різні відхилення від неї. У кожному конкретному випадку можуть змінюватися кількість рівнів, структура мереж, функції рівнів і т. ін. Для побудови мереж синхронної цифрової ієрархії типовими є кільцеві структури на базі МВВ та ґратчасті на базі АОП.

Важливим аспектом проектування мереж синхронної цифрової ієрархії є забезпечення їх надійності та життєздатності. Досить надійною є сама апаратура, а вмонтовані засоби контролю та керування полегшують і пришвидшують виявлення пошкоджень і перемикання на резерв. Проте переваги синхронної цифрової ієрархії щодо надійності та життєздатності повною мірою не реалізуються. Це пояснюється тим, що ВОЛЗ мають значну пропускну спроможність і відмова навіть однієї ділянки може призвести до розриву зв'язку для десятків тисяч користувачів і до значних економічних втрат.

Зрозуміло, що потрібно вживати заходів для забезпечення відмовостійкості мереж, закладаючи резервні ємності й передбачаючи алгоритми реконфігурації мережі в разі відмови її елементів. Виконання цього завдання полегшується завдяки значній ємності ВОЛЗ, низькій вартості одного каналокілометра в них, застосуванню засобів контролю та керування, поділу мережі на незалежні функціональні рівні, можливостям інтелектуальних мультиплексорів і апаратури оперативного перемикання.

Ці обставини сприяли розробленню концепції побудови самозаліковуваних мереж на основі синхронної цифрової ієрархії. Суть концепції полягає у створенні мережі, яка в разі виходу з ладу окремих елементів здатна зберігати або автоматично відновлювати за короткий термін порушені зв'язки без серйозних наслідків для користувачів.

Найпростішим способом самозаліковування є резервування за схемою 1 + 1 при з'єднанні "точка-точка". У цьому випадку два пункти з'єднуються між собою двома кабелями по географічно рознесеним трасам. Кожен сигнал передається одночасно двома трасами, а на приймальному боці здійснюється автоматичний контроль надходжуваних сигналів і вибір кращого з них.

Можливості МВВ обумовлюють обмеження кільцевих мереж, які самозаліковуються. Існують два варіанти їх побудови: одно- і двоспрямоване кільце.

У разі односпрямованого кільця (рис. 11) кожен вхідний потік спрямовується навколо кільця в обох напрямках, а на прийемальному боці, як і за схемою 1+1, вибирають якісніший сигнал. Для побудови кільця використовуються два волокна. Передача основними шляхами відбувається в одному напрямку (наприклад, за годинниковою стрілкою), а резервними - у протилежному (тут поділ на основний і резервний шляхи є умовним, оскільки вони обидва рівноправні). Тому таке кільце називається односпрямованим, з перемиканням трактів або з закріпленим резервом.

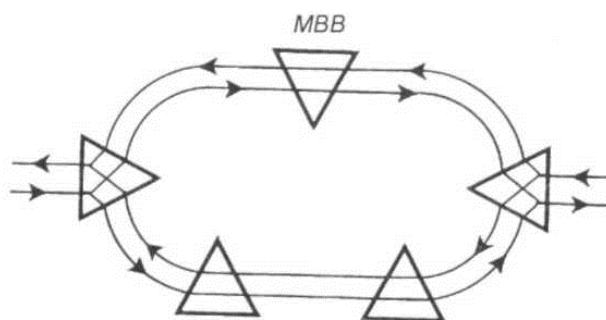


Рисунок 11 – Схема проходження сигналів за двома напрямками передавання інформації для одного з'єднання в односпрямованому кільці

У разі двоспрямованого кільця з двома волокнами сигнал не подвоюється. За нормального режиму кожен вхідний потік спрямовується вздовж кільця найкоротшим шляхом у будь-якому напрямку (звідси назва "двоспрямоване кільце"). Якщо з'являється відмова, то на обох кінцях відмовленої ділянки за допомогою МВВ перемикається весь потік інформації, що надійшов на цю ділянку, у зворотному напрямку. Інакше кажучи, у такому кільці здійснюється перемикання секцій або захист з резервом.

Двоспрямоване кільце може мати чотири волокна. Воно забезпечує вищий рівень відмовостійкості, ніж кільце з двома волокнами. Витрати на побудову цього кільця дуже високі, тому такий варіант використовують рідко.

Двоспрямоване кільце у більшості випадків є більш економічним, ніж односпрямоване, оскільки потребує меншої пропускної спроможності. Це пояснюється тим, що сигнали, які передаються на різних ділянках, що не перетинаються, можуть використовувати одні й ті самі ємності (як в основному, так і в аварійному режимах роботи). Разом з тим односпрямоване кільце є простішим у реалізації. Аналіз типових ситуацій свідчить, що кожен з двох видів кільцевої архітектури має свою сферу ефективного використання.

Односпрямовані кільця більше підходять для випадків доцентрового трафіка. Це притаманно мережам доступу, призначеним для приєднання користувачів до найближчого вузла. Двоспрямовані кільця вигідніші при досить рівномірному розподілі трафіка, коли стають помітними їх переваги

щодо пропускної спроможності. Тому використання цих кілець доцільне для з'єднувальних мереж.

В обох варіантах мережі можна зберегти повну працездатність її за будь-якої одноразової відмови.

Найпростіший і найдешевший варіант, коли два суміжні кільця мають один спільний вузол. Проте цей варіант має той недолік, що при виході з ладу спільного вузла зв'язок між кільцями переривається. Тому для сполучення кілець рекомендується застосовувати два вузли. Це забезпечує стійкість мережі до одиничних відмов елементів.

Отже, вибір мережної архітектури потребує детального техніко-економічного аналізу, який враховує, зокрема, розміри мережі, вимоги до її надійності та життєздатності, розподіл тяжінь між вузлами та інші чинники.

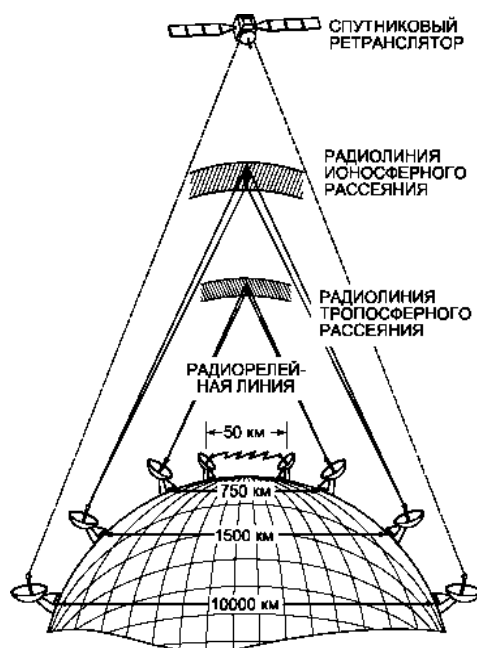
## 2.5 Синхронізація цифрових систем зв'язку по супутниковим сигналам

### 2.5.1 Загальні відомості про системи супутникового зв'язку

Супутниковий зв'язок є перспективним видом зв'язку, який швидко розвивається, що обумовлено такими його перевагами, як:

- можливість обслуговування великої кількості абонентів, віддалених на значні відстані і розташованих у будь-яких регіонах Землі;
- простота реконфігурації систем супутникового зв'язку (ССЗ) при зміні місць розташування абонентів;
- незалежність витрат при організації зв'язку від відстані між об'єктами;
- незначний вплив атмосфери і географічних особливостей місць встановлення земних станцій (ЗС) на стійкість зв'язку.

Принцип дії систем супутникового зв'язку (ССЗ) базується на використанні проміжного супутникового ретранслятора (СР), через який забезпечується зв'язок між ЗС (рис. 1.1).



## Рисунок 1.1 – Система супутникового зв'язку

В залежності від призначення ССЗ пункти зв'язку можуть бути розташовані на поверхні Землі, в атмосфері або космосі. У кожному з цих пунктів встановлюється прийомно-передавальна радіостанція зв'язку (одноканальна або багатоканальна), а на супутниках - СР, які приймають радіосигнали від одних абонентів і ретранслюють їх іншим абонентам. У найпростішому випадку ретрансляція зводиться до посилення потужності вхідних сигналів і перенесення їх спектрів на інші несівні частоти. Проте, у ряді ССЗ в СР здійснюється складніша обробка сигналів з метою зменшення перехресних перешкод між сигналами від різних ССЗ і підвищення завадостійкості системи.

У загальному випадку, для забезпечення якісного зв'язку між усіма пунктами (абонентами) СР доводиться розміщувати на кількох супутниках, що обертаються на різних орбітах.

ССЗ розрізняють по мірі глобальності і універсальності обслуговування абонентів. Міра глобальності ССЗ характеризується приналежністю і розміром зони обслуговування, а універсальності ССЗ - набором категорій абонентів і числом видів зв'язку, що надається.

По приналежності ССЗ підрозділяються на міжнародні, національні, корпоративні. По зоні обслуговування ССЗ - на глобальні, регіональні, зонові (рис. 1.2).

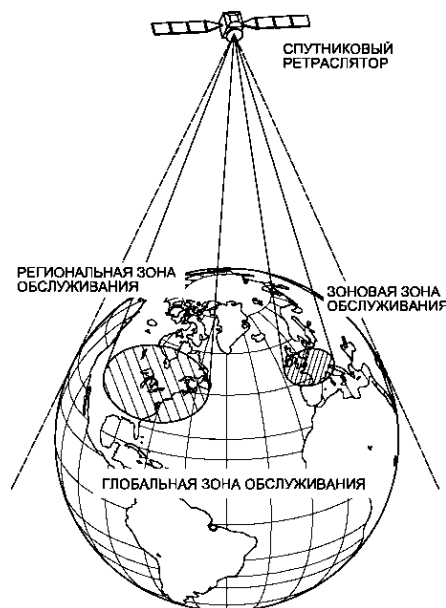


Рисунок 1.2 – Зони обслуговування ССЗ

У ССЗ здійснюється передача наступних видів інформації : 1) програм телебачення і звукового мовлення; 2) телефонних, факсимільних, телеграфних повідомлень, відеоконференцій, цифрових передач - симплексних або дуплексних за своїм характером.

На початкових етапах розвитку в ССЗ застосовувалися аналогові методи передачі інформації. Останніми роками переважний розвиток отримало використання в ССЗ цифрових методів передачі, у зв'язку з тим, що при цьому

забезпечується висока завадостійкість, стабільність параметрів каналів, гнучкість при побудові ССЗ різної конфігурації і модернізації режимів їх роботи, з'являється можливість повнішого використання пропускнуєї спроможності каналів і підвищення техніко-економічних показників ССЗ.

Ефективним засобом підвищення пропускнуєї спроможності ССЗ при забезпеченні телефонного зв'язку є реалізація оптимальних методів модуляції, кодування, багатостанційного доступу, а також, статистичне ущільнення, базоване на використанні природних пауз в розмові двох абонентів.

Межі частотного діапазону, використовуваного в ССЗ, визначаються значною кількістю чинників, з яких найбільш важливими є допустимі розміри антен ЗС і СР, особливості поширення радіохвиль і існуючою практикою розподілу частотного ресурсу між різними службами.

### **2.5.2 Супутникові системи і мережі синхронізації.**

Основне завдання супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) - визначати в глобальних земних масштабах трьохмірні координати користувачів і їх швидкість, якщо ці об'єкти рухаються. Ще одним завданням є точна координація часу в масштабах планети, тобто визначення так званого всесвітнього скоординованого часу (Universal Time Coordinated, UTC).

Серед прикладів реалізованих СРНС - американська GPS і російська (колишня радянська) ГЛОНАСС, а також проєктована в ЄС аналогічна система під назвою Galileo. Схожі системи або їх сегменти розроблюються в Індії, Китаї і деяких інших країнах. Активно обговорюється взаємодія різних СРНС між собою, проте це питання доки не можна вважати повністю вирішеним. На сьогодні обидві функціонуючі СРНС надають міжнародній спільноті можливість безкоштовного прийому своїх сигналів, хоча на практиці рядовий споживач частіше використовує сигнали GPS завдяки дещо кращого покриття земної поверхні і, головне, більшій доступності (дешевизни) приймачів GPS.

Прості приймачі GPS вже досить широко використовуються споживачами України для визначення поточного місця розташування, що дуже зручно для орієнтування на місцевості.

На рисунку 3 показана структурна схема системи GPS. Вона складається з наземного і космічного сегментів. Іноді виділяють і третій сегмент – користувальницький.



Рисунок 3 - Структурна схема системи GPS

Наземний, або контролюючий, сегмент GPS призначений для управління супутниками, а також введення поправок з метою підтримки єдиного часу і єдиної опорної частоти в системі. Сегмент складається з ряду станцій контролю і управління, розташованих, по можливості, рівномірно по усій території Землі, з центром управління в США (уся система GPS контролюється тільки владою США).

Космічний сегмент GPS складається з 24 супутників, що обертаються в шести орбітальних площинах на висоті близько 20 тис. км. Вони забезпечують покриття практично будь-якої точки земної поверхні у будь-який час доби. Установлені на супутниках атомні стандарти частоти 10,23 МГц постачають системі високостабільні опорні сигнали (іноді зкориговані поправками наземного сегменту).

Передавальне обладнання супутників виконує передачу навігаційних і службових даних на двох несівних частотах L1 і L2, відповідно рівних 1575,42 і 1227,60 МГц. Дані передаються у вигляді кількох двійкових кодів, що модулюють фазу сигналів несівних частот. При цьому тільки сигнал частоти L1 модулюється індивідуальним для кожного супутника кодом, що має позначення C/A (Coarse/Acquisition - отримання даних зі зниженою точністю, хоча штучне зниження точності коду C/A останнім часом в GPS вже не здійснюється). Сигнали з кодом C/A - єдині доступні для загального використання. Інший вживаний код (так званий P-код) модулює сигнали обох несівних, але він не призначений для загального застосування і рядовим користувачам його декодування недоступне.

Користувальницький сегмент оснащений приймачами сигналу GPS (випускаються сотні, якщо не тисячі різноманітних моделей оптимальних для рішення тих або інших завдань).

Усі приймачі, в залежності від кількості одночасно відстежуваних супутників, діляться на дві основні групи: багатоканальні (або паралельні) і одноканальні (або послідовні). На сьогодні практично усі приймачі є багатоканальними, тобто одночасно здатні відстежувати багато (як правило, від 8 до 24) спутників, що дозволяє забезпечити відсутність перерви в зв'язку,

характерної для послідовних приймачів при переході від одного супутника до іншого, а також надає ряд інших важливих переваг.

Визначення географічних координат - не єдина, хоча і найбільш широко поширена в геодезії і картографії, функція приймачів сигналів супутникових радіонавігаційних систем. В останні роки навігаційні системи на основі GPS активно використовуються для вирішення завдання точної посадки авіатранспорту в умовах відсутності видимості і т. п. Поза сумнівом той факт, що комплексне застосування таких систем надасть транспортним засобам небачені досі можливості. Крім того, можливості GPS як джерела еталонного сигналу точних частоти і часу, використовуються для вирішення завдання створення і експлуатації мереж синхронізації цифрових мереж зв'язку.

Супутники GPS обладнані високостабільними атомними стандартами частоти. У більшості випадків - це цезієві стандарти частоти з відносною довгостроковою нестабільністю не більше  $1 \times 10^{-12}$ . Час системи GPS з високою точністю пов'язаний з UTC, відрізняючись при цьому по абсолютному значенню на кілька секунд.

Приймачами GPS можуть вважатися як, власне, приймальні модулі, які приймають і декодують сигнали GPS, так і закінчені вироби - стандарти частоти або генератори безперервних коливань (синусоїдальної або спеціальної форми) з частотою, "прив'язаною" до частоти GPS. Останні містять у своєму складі приймальні модулі, а також додаткові пристрої на основі кварцевих або рубідієвих генераторів. Такі стандарти частоти поєднують у собі переваги різних автономних стандартів з відносно невисокою вартістю. Наприклад, рубідієвий стандарт частоти СЧР- 102, виробництва Української компанії "Інформаційні системні технології", забезпечує як короткочасну нестабільність рубідієвого стандарту ( $3 \times 10^{-12}$  за 1 с), так і аналогічну довготривалу (добову) нестабільність якраз за рахунок використання вбудованого модуля приймача GPS, що коригує частоту рубідієвого генератора.

Типовий приймальний модуль GPS призначений для відслідковування одночасно 8 або 12 супутників, напруга його живлення складає 3 або 5 В при величині струму близько сотень міліампер.

Висока точність міток часу в GPS досягається тільки на тривалих часових інтервалах (кілька годин, доба) шляхом статистичної обробки сигналів супутникових радіонавігаційних систем. Для того, щоб досягти аналогічного рівня стабільності частоти протягом короткого інтервалу часу (секунди), до приймача GPS необхідно додати генератор безперервних коливань. В стандартах частоти на основі GPS для періодичного коригування внутрішнього рубідієвого генератора використовується відомий механізм фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Спрощено можна сказати, що схема ФАПЧ порівнює положення в часі (фазу) вихідного секундного імпульсу модуля приймача GPS з фазою такого ж секундного імпульсу, отриманого від ділення до 1 Гц частоти рубідієвого генератора. Виходячи з величини різниці фаз імпульсів, виробляється управляючий сигнал для підстроювання частоти рубідієвого генератора, який може зменшити виміряну різницю фаз аж до нуля.

Таким чином, забезпечується сигнал з необхідною як короткочасною (за рахунок рубідієвого генератора), так і довготривалою (за рахунок

підстроювання по сигналах GPS) нестабільністю частоти. Стандарти частоти на основі різних керованих генераторів, з деякими функціональними доповненнями, є якраз тим обладнанням, яке необхідне для побудови мереж синхронізації в цифрових мережах електрозв'язку, включаючи мережі GSM, CDMA, передачі даних та ін. У цьому випадку джерела на базі GPS використовуються як генератори синхросигналів високої стабільності. Враховуючи, що сигнал GPS у своєму складі несе інформацію про єдиний час UTC, приймачі GPS можуть з успіхом використовуватися як генератори системи часової синхронізації, тобто пристроїв, в яких акумулюється інформація про точний час.

Функціональна схема стандарту частоти на основі GPS наведена на рисунку 4.



Рисунок 4 - Функціональна схема стандарту частоти на основі GPS

### 2.5.2 Синхронізація цифрових систем зв'язку по сигналам супутникових радіонавігаційних систем

Більшість сучасних цифрових систем радіозв'язку мають кілька систем синхронізації, які розташовуються на приймальній частині радіосистеми. Серед них виділяють:

- системи синхронізації по несівній частоті (ССН);
- системи тактової синхронізації (СТС);
- системи циклової синхронізації (СЦС);
- системи кадрової синхронізації (СКС).

В першу чергу виконується синхронізація по несівній частоті, потім по тактовій частоті, по циклу і по кадру.

Для кожної системи синхронізації виділяють два режими роботи: режим входження в синхронізм (режим пошуку); режим стеження.

У режимі входження в синхронізм здійснюється пошук і виявлення сигналу, груба оцінка його невідомих параметрів. Після чого система захоплює сигнал і переходить в режим стеження, в якому здійснюється точна оцінка невідомих параметрів сигналу, що приймається. Перехід в синхронний режим



може здійснюватися за допомогою інформації, яка передається на початку сеансу зв'язку або по самому інформаційному сигналу. Таким чином, ефективність передачі корисних даних знижується через витрати на передачу даних, необхідних тільки для синхронізації і необхідного часу для пошуку сигналу, а також переходу в режим стеження усіх систем синхронізації приймача. У зв'язку з цим не втрачають актуальності питання підвищення ефективності роботи систем синхронізації.

Одним з методів синхронізації передавального і приймального пристроїв є примусова синхронізація з використанням всесвітнього точного часу. В цьому випадку мітки точного часу на кінцях лінії передачі даних формуються, наприклад, за допомогою приймачів глобальних супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) ГЛОНАСС/GPS/Galileo. Сучасні приймальні обладнання СРНС здатні синхронізувати часові шкали користувача з похибкою десятки наносекунд і краще, що дозволяє використовувати їх для синхронізації цифрових систем зв'язку по несівній частоті.

Структурна схема синхронізації передавального і прийомного пристроїв по сигналам супутникових навігаційних систем наведена на рисунку 5.

Навігаційні приймачі передавальної і приймальної частини системи зв'язку служать для визначення координат місця розташування пристроїв і синхронізації шкал часу. Визначення координат місця розташування пристроїв дозволяє визначити відстань між передавачем і приймачем системи зв'язку, розрахувати і врахувати затримку на поширення сигналу (іншим способом визначення цієї затримки є спосіб автоматичного калібрування, коли передавач випромінює в певні моменти часу сигнал-маркер, а приймач робить оцінку затримки цього сигналу за всесвітньою шкалою часу).

Крім того, при зв'язку з рухомими об'єктами, приймач СРНС видає дані про вектор швидкості об'єкту, що дозволяє врахувати в системі синхронізації ефект Доплера.

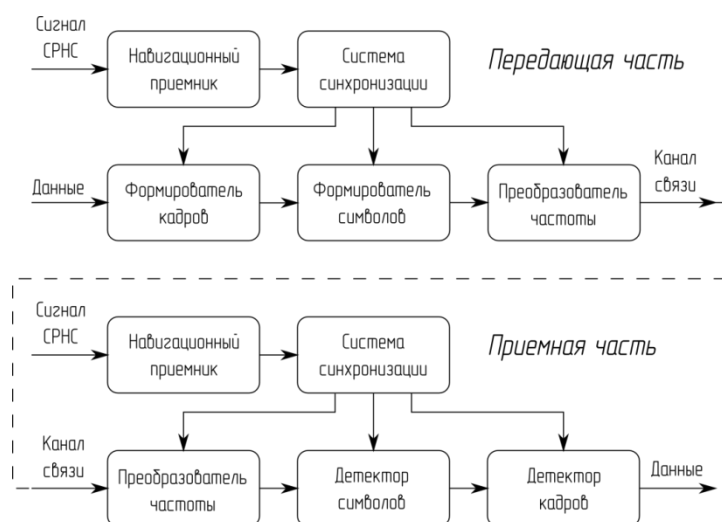


Рисунок 5 – Структурна схема синхронізованої системи зв'язку

Відмінними особливостями даного варіанту синхронізації є:

- реалізація синхронізації цифрових систем зв'язку по несівній частоті;
- створення можливості побудови систем зв'язку без будь-яких додаткових петель синхронізації;
- реалізація можливості використання шкали всесвітнього часу для синхронної зміни параметрів програмно-обчислювальних систем зв'язку.

Використання приймачів СРНС для синхронізації шкал часу передавача і приймача дозволяє забезпечити синхронізацію з певною похибкою. У загальному випадку погіршення роботи системи передачі даних, викликане помилками синхронізації, залежить від вибраного виду модуляції.

Таблиця 1 – Втрати в каналі зв'язку, викликані відносною помилкою синхронізації часових шкал приймача і передавача

Швидкість передачі даних, МБод	Втрати, дБ
3,125	1
6,25	3
10	7
Передача з заданою ймовірністю символної помилки і з більш високою швидкістю неможлива	-

Як видно з таблиці 1, сучасні радіонавігаційні системи спроможні забезпечити синхронність роботи високошвидкісних цифрових систем передачі даних при задовільному рівню втрат.

### 3 СИГНАЛІЗАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

#### 3.1 Системи сигналізації мереж зв'язку України

##### 3.1.1 Класифікація систем сигналізації.

Під сигналізацією розуміють сукупність сигналів, які передаються між елементами мережі для забезпечення встановлення і роз'єднання з'єднань при обслуговуванні викликів, а також для передавання різної службової інформації. В залежності від ділянки мережі розрізняють наступні види сигналізації (рис.1):



Рисунок 3.1 - Види сигналізації

- абонентська – на ділянці між кінцевим пристроєм абонента і комутаційною станцією;
- внутрішньостанційна – між різними функціональними вузлами і блоками всередині комутаційної станції;

- міжстанційна – між різними комутаційними станціями мережі.

Для прикладу на рис. 2 показані сигнали абонентської сигналізації, які передаються в процесі нормального встановлення / роз'єднання з'єднання між двома абонентами включеними в одну КС.

Внутрішньостанційна сигналізація залежить від архітектури і принципів побудови СК, застосовуваної елементної бази і є специфічною для кожного типу системи.

Міжстанційна сигнальна інформація може передаватися різними способами, які можна розділити на 3 основні класи.

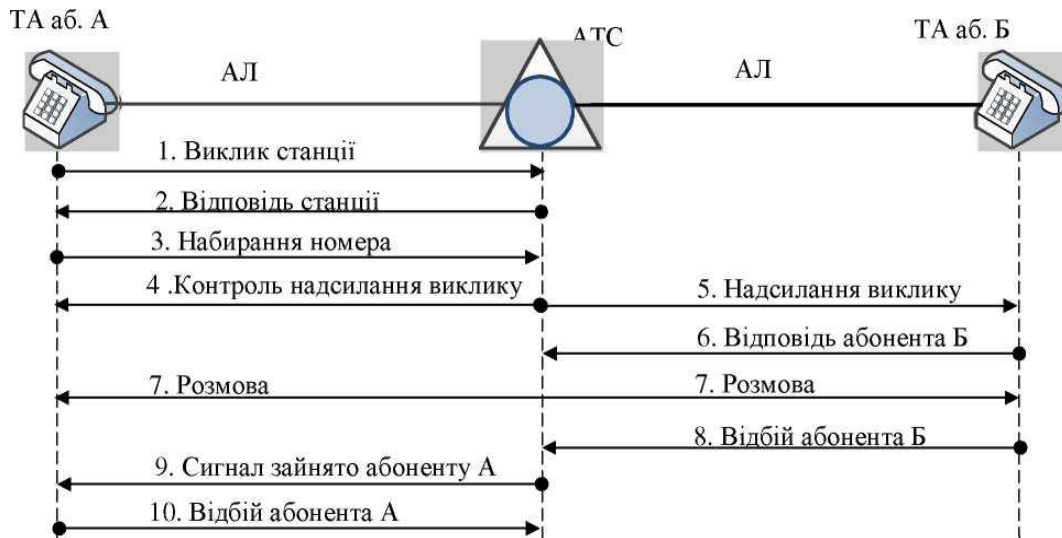


Рисунок 3.2 – Передавання сигналів на абонентській частині мережі

1. *Спосіб передачі сигналів безпосередньо по телефонному каналу* (розмовному тракту), який іноді називають “внутрішньосмуговою” системою сигналізації. По телефонним каналам сигнали можуть передаватися постійним струмом (гальванічний, шлейфний чи батарейний спосіб), струмами тональної частоти, індуктивними імпульсами. При передачі сигнальної інформації в смузі розмовних частот необхідно забезпечити виключення фальшивих спрацювань приймача тонального сигналу (ПТС) від розмовних струмів, так як у цьому випадку ПТС жорстко підключений до телефонного каналу і ті струми розмовних частот, на які налагоджений ПТС можуть викликати його фальшиве спрацювання. Для того, щоб цього запобігти, за сигнальну використовують частоту, вищу за 2 кГц (2,1 кГц, 2,6 кГц). Струми розмовних частот, вищі за 2 кГц складають всього 5% і ймовірність фальшивого спрацювання ПТС, налагодженого на цю частоту досить мала.

2. *Сигналізація по індивідуальному виділеному сигнальному каналу (ВСК).*

Як правило, в таких системах забезпечуються виділені засоби передавання сигнальної інформації (виділена ємність каналу) для кожного телефонного каналу в тракті передавання інформації. Один канал містить як розмовну, так і сигнальну смугу частот. Обладнання сигналізації є складовою частиною системи передачі. Це може бути 16 – й каналний інтервал в ІКМ –

тракті, виділений частотний канал зверх розмовного каналу ТЧ на частоті 3800 чи 3825 Гц та ін.

При цьому канал може бути зв'язаним або незв'язаним. Якщо як ВСК використовується один з розмовних каналів СП, який використовується для передавання сигнальної інформації кількох розмовних каналів цієї ж системи, його називають зв'язаним. Обладнання сигналізації тут також є складовою частиною СП. Наприклад, 16 – й каналний інтервал в ІКМ – тракті.

Якщо обладнання сигналізації не входить до складу СП, то ВСК є незв'язаним.

3. *Системи загальноканальної сигналізації (ЗКС).* Тракт передавання даних ЗКС надається для усього пучка телефонних каналів по принципу адресно – групового використання, тобто сигнали передаються у відповідності зі своїми адресами і розміщуються у загальному буфері для використання кожним каналом як і коли це буде необхідно.

ЗКС може використовуватись як на аналогових, так і на цифрових мережах. Канал може виділятися як на АСП, так і на ЦСП.

Якщо ЗКС організовується на АСП, для нього виділяється 4-х провідний канал, що обслуговує групу розмовних каналів. Кожний інформаційний канал при цьому є рівноправним при використанні каналу сигналізації в часі. Кожному сигналу надається адреса, яка вказує, до якого розмовного каналу він належить. Код сигналу, адреса та інша додаткова інформація складають сигнальну одиницю (СО), тобто вся інформація по ЗКС передається в складі СО.

ЗКС через модем і апаратуру сполучення (АС) підключається до УП комутаційного вузла. Модем перетворює аналогові сигнали у цифрову форму, а АС здійснює взаємодію з УП, забезпечуючи підвищення достовірності передачі шляхом додавання контрольних біт. АС здійснює перевірку правильності прийнятих сигналів після їх декодування. У випадку виявлення помилки в одній з одиниць, все повідомлення повинне бути передане повторно.

При використанні ЦСП модеми не потрібні, а в іншому принципі реалізації ЗКС такі самі, як на аналогових каналах. Оскільки при використанні ЗКС сигнальна інформація по розмовному тракту не передається, необхідна перевірка розмовних каналів до початку розмови. Ця перевірка здійснюється шлейфним способом: на одному боці підключається генератор і приймач, а на іншому замикається шлейф розмовних проводів.

Системи сигналізації перших двох типів розроблені для використання на мережах з застарілими технологіями, в яких комутаційні вузли і станції електромеханічного типу, а системи передавання, в основному, аналогові (але можуть бути і цифрові). ЗКС – системи, оптимальні для використання в мережах з сучасними технологіями, в яких і КС, і системи передачі базуються на цифрових технологіях і програмному управлінні.

При цьому можливе передавання трьох категорій сигналів:

- абонентських (інформаційних) сигналів, які управляють трактом передавання по абонентській лінії, а також інформують абонентів про стан з'єднання (акустичні та зумерні сигнали);

- лінійні сигнали, які управляють трактом передавання по каналах зв'язку між станціями. Лінійні сигнали передаються в прямому і зворотному напрямку в початковому стані і під час встановлення з'єднання до повного звільнення приладів. Ці сигнали відзначають основні етапи встановлення з'єднання;

- сигнали управління, які надають адресну інформацію для направлення викликів до місця призначення (н-д, інформація про номер абонента, якого викликають, про категорію і номер абонента, якого викликають, сигнали категорії викликів та ін.). Призначені для передавання інформації між управляючими пристроями тільки в процесі встановлення з'єднання.

Сукупність відповідних сигналів і способів їх передавання утворюють абонентську сигналізацію, лінійну і управляючу.

Адресна інформація може передаватися між станціями двома способами:

- методом "від вузла до вузла", згідно якому вся адресна інформація надсилається до кожної станції на шляху з'єднання. Наприклад, вихідна станція А передає всю інформацію на станцію Б і її передавач звільняється. Станція Б оброблює адресну інформацію і надсилає її до наступної станції В і т.д.

- методом "з кінця в кінець", коли здійснюється наскрізна сигналізація. Наприклад, станція А передає тільки частину інформації, необхідної для направлення виклику на наступну станцію Б, потім частина інформації передається із станції А на В і т.д.

### **3. 2.1 Міжнародні стандартні системи сигналізації.**

Розвиток систем сигналізації можна розділити на 3 періоди:

1 період – характеризується широким використанням ДК КС з безпосереднім керуванням, коли всі функціональні сигнали передаються по індивідуальному тракту. Таким індивідуальним трактом передавання телефонних сигналів є або сам розмовний канал, по якому встановлено з'єднання, або індивідуальний виділений СК, закріплений за даним розмовним і який лежить за межами його частотної смуги. Це є СС № 1-3. Для передачі сигналів використовується розмовний тракт. Для кодування – одна чи декілька частот, що лежать у спектрі телефонного каналу.

2 період – характеризується появою ККС з реєстровим керуванням. Введення реєстрового керування потребувало збільшення кількості переданих керуючих сигналів, збільшення швидкості та вірогідності передавання. Це СС № 4, 5.

СС № 4 (1954р). Для передавання сигналів використовуються дві частоти – 2040 та 2400 Гц. Розпізнавання сигналів здійснюється по тривалості та частоті. Цифри кодуються комбінацією з 4-х імпульсів, кожен з яких має частоту  $f_1$  чи  $f_2$  (наявність чи відсутність току).

Тривалість імпульсу і інтервалу – 35 мс. Передавання здійснюється з інтервалами, тому немає необхідності в стартових та стопових сигналах. Тривалість передавання кожної цифри 280 мс. Застосовується для кінцевих і транзитних з'єднань.

СС №5 (1964р). Для передавання керуючої інформації використовуються комбінації 2-х частот з 6-ти, які передаються в смузі частот розмовного спектру.

Лінійні сигнали передаються на частотах 2400 та 2600 Гц. Застосовується для кінцевих і транзитних з'єднань.

В 1968 р. МККТТ була рекомендована замість СС № 4 – СС R2.

R2 – для передавання лінійних сигналів використовується індивідуальний ВСК на  $f = 3825$  Гц, закріплений за кожним розмовним трактом.

Сигнали керування передаються по розмовному каналу 12-частотним 2-х смуговим способом, який використовує 2 групи частот: одну – для прямого напрямку, другу – для зворотного. Передавання ведеться кодом „2 з 6” методом „безперервного човника”. Застосування прямих і зворотних сигналів у рознесених групах частот дозволяє починати їх передавання в одному напрямку, не чекаючи припинення передавання в іншому. Це дає можливість використовувати СС R2 на 2-х провідних лініях з високою швидкістю передавання. В цифровому варіанті СС R2D для передавання лінійних сигналів використовується КІ 16, ІКМ-30, в яких організовується 2 виділених СК.

3 період – характеризується використанням на телефонних мережах станцій з програмним керуванням. В них можна значно скоротити об'єм та вартість обладнання сигналізації шляхом використання ЗП електронно-керуючих машин і високої швидкості обробки інформації. Станції цього типу можуть забезпечити передавання лінійних та управляючих сигналів, не по індивідуальним каналам, а по ЗКС з використанням засобів передавання даних.

СС №6. У 1968 р. МККТТ була затверджена СС № 6, яка рекомендувалася для організації ЗКС на міжміській мережі.

Швидкість передавання інформації 56 Кбіт/с (цифрова), 4 Кбіт/с (аналогова).

Недоліки:

- СС не розрахована на роботу по каналам з великим часом поширення сигналу;

- Має не достатню завадостійкість, обмежений об'єм адресної частини;

- Недостатньо гнучка для пристосування до недоліків національних мереж;

- Не придатна для використання в ЦСІО.

Тому в 1980 р. спеціально для ЦСІО була розроблена СС № 7.

СС №7 має модульний принцип побудови, багаторівневу структуру з чітким розділенням між рівнями, стандартними сигналами між ними і незалежністю структури і алгоритму роботи верхніх рівнів від нижніх. Така структура відповідає структурі 7- рівневої моделі відкритих систем і має багато спільного з системою КП.

СС №7 має високу швидкість передавання 64 Кбіт/с (цифрова), 4,8 Кбіт/с (аналогова).

При використанні ЗКС збільшуються вимоги до надійної роботи каналу, так як від одного ЗКС залежить робота 1500-2000 розмовних каналів. Згідно рекомендацій МККТТ, ймовірність прийому сигналів по ЗКС з не виявленою помилкою не повинна перевищувати , а для деяких сигналів (наприклад, роз'єднання таксації ).

Необхідна ймовірність передавання досягається застосуванням захисних кодів, вирішального зворотного зв'язку та повторною передачею неправильно прийнятого повідомлення. Помилки виявляються завдяки застосуванню циклічного коду та за допомогою детектора переривання несівної.

Особливість використання ЗКС – необхідність її синхронної роботи, яка досягається передаванням порожніх СО чи СО синхронізації у випадку відсутності в каналі корисної інформації.

Для надійності все обладнання, включаючи тракти, резервується.

## **3.2 Система сигналізації №7**

### **3.2.1 Основні характеристики.**

В аналогових мережах зв'язку для передавання управляючої інформації використовуються СС (з КК), які забезпечують досить надійну роботу, але вона не задовольняє вимогам цифрових мереж. Кількість і різноманітність інформації управління, що в них передається, значно більша. Тому стали необхідними більш ефективні системи сигналізації.

#### ***Переваги ЗКС***

- ***швидкість*** – в більшості випадків час встановлення з'єднання < 1 с;
- ***висока продуктивність роботи*** – один канал сигналізації взмоє одночасно обслуговувати множину тлф викликів;
- ***економічність*** – у порівнянні з традиційними СС скорочується об'єм обладнання на КС;
- ***надійність*** – досягається за рахунок можливості альтернативної маршрутизації в мережі сигналізації;
- ***гнучкість*** – система передає будь-які дані, не лише тлф, але і ЦМІО, мереж рухомого зв'язку, інтелектуальних мереж і т.д.

**СС №7** є методом сигналізації, при якому один загальний канал передає інформацію, що належить множині каналів, або іншу інформацію, н-д, яка використовується для управління мережею.

#### ***Особливості СС №7***

- міжнародна стандартизація (можливі національні зміни);
- використовується на національних та міжнародних мережах;
- використовується для різних типів систем і послуг зв'язку (тлф, передача текстів, ПД)
- відповідність особливостям ЦЛ і ЦМІО;
- високі експлуатаційні можливості і гнучкість з орієнтованою на майбутнє здатністю задовольняти новим вимогам;
- висока надійність передачі повідомлень в правильній послідовності без втрат та дублювання;
- сигналізація по окремим ланкам сигналізації, у зв'язку з чим швидкість каналів сигналізації залежить від критеріїв мережі сигналізації;
- сигнальні ланки завжди доступні, навіть під час виклику;

- можливість використання різних засобів зв'язку: кабель, РРЗ, супутник ( $i > 2$  супутн. ланок);
- можливість використання низьких швидкостей і аналогових ланок сигналізації;
- автоматичне управління і контроль мережею сигналізації.

В СС №7 приймаються заходи, щоб гарантувати задовільну передачу інформації при відмовах мережі чи порушеннях передачі. Ці заходи включають в себе визначення та виправлення помилок в кожній ланці.

Система зазвичай використовується з надлишковістю ланок сигналізації і включає функції автоматичного переключення на резервні шляхи у випадку відмови ланки. Одна сигнальна ланка може передавати повідомлення для багатьох каналів.

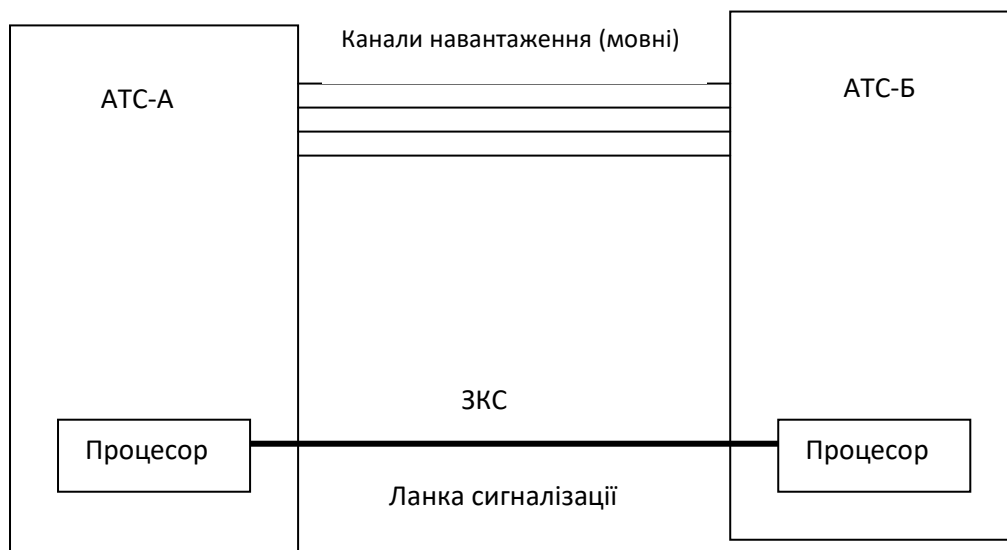


Рисунок -

Потужність і надійність визначається множиною ланок сигналізації.

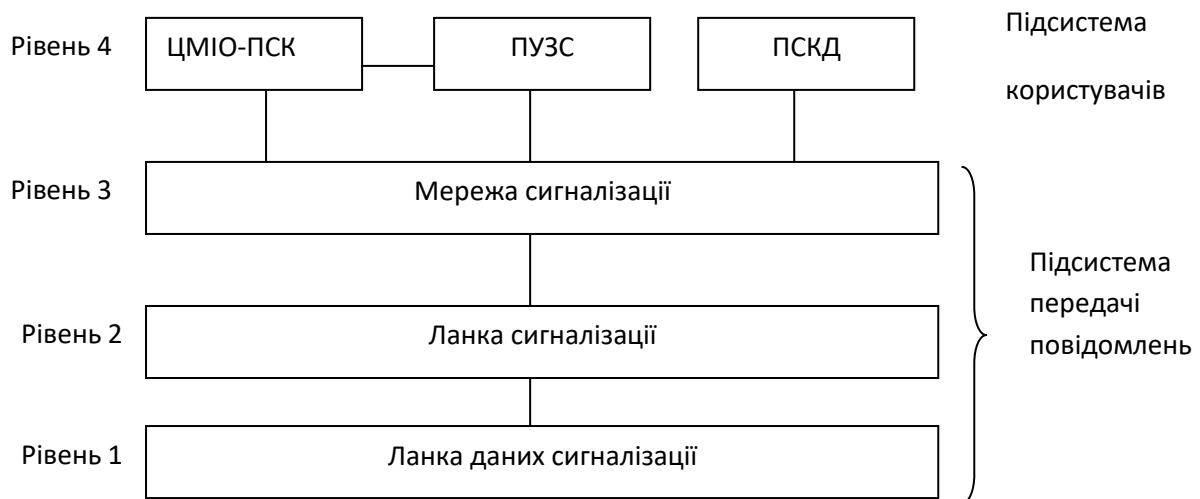
В СС №7 сигнальне повідомлення передається через окремі ланки сигналізації.

### 3.2.2 Архітектура СС № 7.

Спочатку СС №7 будувалась на вимогах управління тлф каналами. Для задоволення цих вимог СС №7 була розділена на дві частини: підсистему передачі повідомлень (ППП) і підсистему користувача (ПК).

СС має 4 рівні. До ППП входять рівні 1-3, а до ПК – 4-й.





ЦМІО – ПСК – підсистема користувачів ЦМІО

ПУЗС – підсистема управління з'єднаннями сигналізації

ПСКД – підсистема користувачів даних

Рисунок - Функціональні рівні

**Рівень 1** (ланка даних сигналізації) визначає фізичні, електричні і функціональні характеристики ланки даних сигналізації і засоби доступу до неї.

Елементом є канал зв'язку для ланки сигналізації.

Для цифрової ланки даних використовуються канали 64 кбіт/с, а для аналогових – переважно 4,8 кбіт/с (з використанням модемів).

**Рівень 2** (ланка сигналізації). Визначає функції і процедури для правильного обміну повідомленнями користувача. Передача сигнальної інформації відбувається по єдиній ланці.

Р.2 функціонує разом з Р.1, який забезпечує ланку сигналізації підтримкою для надійного передавання повідомлень сигналізації між двома пунктами сигналізації.

Повідомлення сигналізації, яке надходить від більш високого рівня, передається по Р.2 сигнальними одиницями (СО) різної довжини.

Для забезпечення нормальної роботи ланки, СО, крім інформації, яка міститься в повідомленні сигналізації, містить і інформацію управління передачею.

#### Функції ланки сигналізації

1. Виявлення помилок, розподіл на СО;
2. Управління передачею та прийомом;
3. Управління входженням у зв'язок;
4. Управління станом ланки;
5. Контроль перевантаження;
6. Управління відключенням процесора;
7. Взаємодія з підсистемою.

**Рівень 3** (мережа сигналізації) визначає взаємодію окремих ланок сигналізації. Ці процеси утворюють дві функціональні області:

- область функцій управління повідомленням сигналізації, тобто доставку повідомлень у певну ланку або до відповідної підсистеми користувача;

- область функцій управління мережею сигналізації. Це функції, які на основі певних даних і інформації про стан мережі сигналізації управляють вибором напрямку поточного повідомлення, тобто при виявленні відмови направляють повідомлення по резервній ланці, а після усунення несправності здійснюють повернення до нормальної роботи.

**Рівень 4** (функції підсистеми користувача) складається з різних підсистем користувачів, кожна з яких визначає функції сигналізації, характерні для певного типу користувача.

Набір функцій може значно розрізнятися для різних категорій користувачів.

Можна виділити дві групи користувачів:

1 – користувачі, для яких більшість функцій зв'язку визначено в системі сигналізації. Наприклад, користувачі телефонії і функції управління викликами;

2 – користувачі, для яких більшість функцій зв'язку визначено не в системі сигналізації. Наприклад, використання СС для передачі інформації управління і ТО.

При виникненні нових вимог, н-д, для передачі інформації, не зв'язаної з каналом, СС №7 була розширена для задоволення цих вимог.

Це було необхідно для забезпечення сумісності елементів СС №7 з 7-ми рівневою еталонною моделлю взаємодії відкритих систем (рис. ).

### **3.2.3 Типи сигнальних одиниць (СО) та їх структура.**

Через ланку сигналізації інформація передається за допомогою пакетів даних, які називаються *сигнальними одиницями (СО)*.

Типи СО:

- *значуща СО* - використовується для передачі повідомлень користувачів і повідомлень управління мережею сигналізації (рівні 4 і 3); повторюються у випадку помилки.

- *СО стану ланки* – використовується для контролю стану ланки сигналізації і формується на 3-му рівні.

- *Заповнююча СО* – використовується для забезпечення фазування ланки при відсутності повідомлень користувача.

Формування СО виконується на 2-му рівні підсистеми передачі повідомлень.

Структура СО залежить від її типу. Найбільш складною є значуща СО.

### Значуща СО

F	CK	SIF	SIO	/	LI	FIB	FSN	BIB	BSN	F
8	16	8n, n>2	8	2	6	1	7	1	7	8

### СО стану ланки

F	CK	SF	/	LI	FIB	FSN	BIB	BSN	F
8	16	8	2	6	1	7	1	7	8

або 16

### Заповнююча СО

F	CK	/	LI	FIB	FSN	BIB	BSN	F
8	16	2	6	1	7	1	7	8

**F – флаг** – для відокремлення однієї СО від іншої. Закриваючий F однієї СО є відкриваючим для іншої. Але, у випадку перевантаження ланки сигналізації, може надходити кілька F підряд.

Код F - 01111110. Щоб запобігти помилкового виділення F з інформаційної послідовності, застосовують *стаффінг* – тобто на передачі в інформаційну послідовність, яка містить 6 і більше одиниць підряд, після кожної 5-ї одиниці вставляється нуль, який на прийомі, після аналізу на флаг, відкидається (бітстаффінг).

**CK – перевіряючі біти** – формуються на передавальному боці і додаються до СО. На прийомному боці по CK визначається, чи була СО передана без помилок. СО отримує позитивне чи негативне підтвердження на основі перевірки.

**SIF – поле сигнальної інформації** – існує лише в значущих СО. Містить фактичне повідомлення користувача. Включає в себе адресу призначення. Максимальна довжини – 272 байта. Формат і код повідомлення окремо визначається для кожної підсистеми користувача.

**SIO – байт службової інформації** – існує лише в значущих СО. Містить індикатор служби і мережевий індикатор.

*Індикатор служби* – встановлюється для кожного користувача підсистеми передачі повідомлень. Він інформує. Яка підсистема повинна отримати передане повідомлення.

*Мережевий індикатор* – показує, національний чи міжнародний рівень мережі.

**LI – індикатор довжини** – використовується для забезпечення різниці між трьома СО. Він відображає кількість байтів між полем перевіряючих бітів і полем LI. Поле LI містить значення, відповідні типу СО:

- 0 – для заповнюючої СО;
- 1 чи 2 – для СО стану ланки;
- > 2 – для значущої СО.

Максимальне значення поля LI - 63 (навіть якщо поле сигнальної інформації містить > 63 байт).

**FIB – прями́й біт-індикатор** – необхідний під час основного методу захисту від помилок. Він показує, чи була СО передана перший раз, чи повторно для виправлення помилки.

**BIB – зворотній біт-індикатор** – необхідний під час основного захисту від помилок. Помилкова СО з інвертованим зворотнім біт-індикатором потребує повторної передачі для виправлення помилки.

**FSN – прями́й порядковий номер** – призначається послідовно кожній передаваній СО. Доступні номери від 0 до 127 в двійковій формі (7 біт).

**BSN – зворотній порядковий номер** – застосовується для підтвердження прийому СО з протилежного ПС. Серії раніше прийнятих СО можуть також бути підтверджені одним зворотнім порядковим номером.

**SF - поле стану** – використовується тільки в СО стану ланки. Містить індикатори стану для фазування, передачі чи прийому вказівок ланці.

### 3.2.4 Функції мережі сигналізації.

Функції мережі сигналізації належать до обміну повідомленнями між пунктами сигналізації, які є вузлами мережі сигналізації. Ці функції і процедури здійснюються підсистемою передачі повідомлень на рівні 3.

Функції мережі сигналізації повинні забезпечувати надійну передачу сигнальних повідомлень навіть у випадку відмови ланки сигналізації і ТПС. Тобто, вони включають відповідні процедури, необхідні для інформування віддалених пунктів мережі сигналізації про наслідки деякої відмови і для забезпечення відповідної ре конфігурації маршруту повідомлень через мережу сигналізації. Функції мережі сигналізації зазвичай виконуються центральним або спеціалізованим процесором системи комутації.

Функції мережі сигналізації розділяються на 2 основні категорії:

- 1 – обробка сигнальних повідомлень;
- 2 – управління мережею сигналізації.

**Функції обробки сигнальних повідомлень** – призначення їх є доставка сигнальних повідомлень, які надходять від певної підсистеми користувача в пункті сигналізації (вихідний пункт), до такої ж підсистеми користувача в пункті призначення, вказаної вихідною підсистемою користувача. Ця доставка, в залежності від обставин, здійснюється по ланці сигналізації або через один чи кілька ТПС.

Функції обробки сигнальних повідомлень підрозділяються на:

1. **Функцію маршрутизації повідомлень**, яка використовується в кожному пункті для визначення вихідної ланки сигналізації, по якій повідомлення повинне бути відправленим до пункту призначення.

2. **Функцію відбору повідомлення**, яка використовується в пункті сигналізації для визначення того, призначалося отримане повідомлення саме цьому ПС чи ні. Коли ПС м.б. транзитним і, якщо повідомлення йому не призначене, то воно повинне бути переданим на функцію маршрутизації повідомлень.

3. **Функція розподілу повідомлень**, яка використовується в кожному ПС для доставки отриманих повідомлень (призначених для самого пункту) у відповідну підсистему користувача.

Обробка сигнальних повідомлень базується на використанні спеціального поля сигнальної інформації SIF значущих СО – етикетки маршрутизації, яка визначає вихідний пункт сигналізації і пункт призначення.

### **3.2.5 Функції підсистеми передачі повідомлень.**

ППП відповідає за передавання та прийом СО, за виправлення помилок передачі, за управління мережею сигналізації та за фазування. Ці функції розміщені на функціональних рівнях 1, 2 та 3. Розглянемо на рисунку розподіл функцій в ППП (Чеусов, рис.17).

#### **1) Передавання СО**

Від користувача до ППП надсилається повідомлення наступного змісту: інформація користувача, етикетка маршрутування, індикатор служби, мережевий індикатор та індикатор довжини. Процес передачі повідомлення сигналізації починається на рівні 3. (див. рис. 17).

2) **Функція маршрутування повідомлень** (рівень 3) визначає ланку сигналізації, на яку буде передане повідомлення користувача. Для цього вона аналізує код пункту призначення (DPC) і поле вибору ланки сигналізації (SLS) в етикетці маршрутування повідомлення користувача, а потім передає повідомлення на відповідну ланку сигналізації (рівень 2).

3) **Функція управління передачею** (рівень 2) призначає наступний прямий порядковий номер (FSN) і прямий біт-індикатор (FIB) повідомлення користувача. Крім того, вона включає зворотний порядковий номер (BSN) і зворотний біт-індикатор (BIB) як підтвердження для останньої отриманої значущої СО.

Функція управління передачею направляє формуєму значущу СО на передачу та в буфер повторної передачі. Всі передані ЗСО зберігаються у буфері повторної передачі до їх правильного прийому, підтвердженого прийомним боком. Тільки після цього вони видаляються з буферу.

4) **Генератор перевірочних бітів і флагу** (рівень 2) генерує перевіряючи біти для захисту від помилок при передаванні ЗСО і встановлює флагу для їх розділення. З тим, щоб деяка частина передаваного коду, що відповідає флагу (01111110), на прийомі помилково не була прийнята за флагу, повідомлення користувача перед додаванням флагу перевіряється, чи нема в повідомленні більше 5 послідовних 1. Там, де зустрічаються такі послідовності, після 5 одиниць автоматично вставляється нуль. На прийомному боці після виділення флагу, нуль, що надходить за 5-ю одиницею, автоматично видаляється і повідомлення користувача отримує свій початковий вигляд.

Генератор перевірочних бітів і флагу повну значущу СО передає рівню 1, де ЗСО направляється в ланку даних сигналізації.

5) **Прийом СО**. Проїшовши ланку даних сигналізації, бітовий потік приймається на рівні 1 і передається на рівень 2.

6) **Функція знаходження флагу** (рівень 2) перевіряє отриманий бітовий потік на флаги. Послідовність між двома флагами відповідає одній СО.

7) **Функція фазування** (рівень 2) користуючись флагами, управляє синхронізацією передавального та прийомного блоків.

8) **Функція знаходження помилок** (рівень 2), використовуючи передані перевірочні біти, визначає, чи правильно була передана СО. Правильна СО передається на управління прийомом, помилкова СО отримує відмову. Отримання помилкової СО повідомляється монітору інтенсивності помилок про необхідність продовження перевірки на інтенсивність помилок на прийомному боці. Якщо поріг (певна величина) інтенсивності помилок перевищується. То про це повідомляється управлінню станом ланки сигналізації за допомогою монітора інтенсивності помилок. Управління станом ланки сигналізації формує повідомлення «ланка сигналізації не працює» і надсилає на рівень 3.

9) **Функція управління прийомом** (рівень 2) перевіряє, чи містить прийнята СО очікуємі прямий порядковий номер і прямий біт-індикатор. У випадку, якщо прийнята ЗСО, функція управління прийомом передає повідомлення користувача на рівень 3 і формує позитивне підтвердження правильно прийнятої ЗСО. Якщо прямий порядковий номер прийнятої ЗСО не відповідає очікуваному, функція управління прийомом знаходить помилку і запрошує повторну передачу цієї і всіх послідуєчих ЗСО.

10) **Функція розпізнавання повідомлень** (рівень 3) приймає правильно прийняте повідомлення користувача. Спочатку вона визначає, чи належить це повідомлення користувача одній з під'єднаних систем користувача чи воно повинне бути транспортованим на іншу ланку сигналізації (квазі-зв'язане повідомлення). Цей попередній відбір здійснюється функцією розпізнавання повідомлень шляхом аналізу коду пункту призначення. Повідомлення користувача, яке лише проходить через ПС (ТПС) передається цією функцією розпізнавання повідомлень функції маршрутування повідомлень, де воно оброблюється як таке, що підлягає передачі повідомлення користувача.

11) **Функція розподілу повідомлень** (рівень 3). Сюди надходить отримане повідомлення користувача, яке призначене для однієї з під'єднаних підсистем користувача. Ця функція аналізує байт службової інформації (SIO) і визначає підсистему користувача, куди повинне бути доставлено повідомлення користувача.

12) **Виправлення помилок передачі**. Так як повідомлення в сигналізації можуть призводити до неправильної реакції, особливо в процесі з'єднання, помилки передачі повинні бути зведені до мінімуму. В СС№7 з цією метою існує 2 методи:

- основний метод виправлення помилок;
- метод виправлення помилок шляхом циклічного повторення.

Обидва методи базуються на повторному передаванні неправильно прийнятої ЗСО. При основному методі всі ЗСО, починаючи з неправильно прийнятої, по запиту передаються для повторної передачі. При методі виправлення помилок шляхом циклічного повторення відбувається повторення всіх ЗСО з буфера повторної передачі.

Виправлення помилок відбувається на рівні 2.

### **3.3 Структура ЗКС №7 на мережах різних типів**

#### **3.3.1 Стратегії впровадження системи ЗКС №7**

При плануванні мережі доцільно керуватися однією з рекомендованих ІТУ-Т стратегій:

- стратегія "зверху вниз";
- стратегія "знизу нагору";
- стратегія островів.

#### **Стратегія "зверху вниз"**

Реалізація системи СС №7 у цьому випадку спочатку здійснюється на вищому рівні мережі. Це рівень міжміських станцій і вузлів (кінцевих і транзитних).

Подальша інтеграція системи СС №7 піде вниз по мережній ієрархії до регіональних транзитних станцій і до місцевих станцій, залежно від швидкості цифровізації первинної мережі та швидкості впровадження нових технологій на місцевих мережах.

Перевагою стратегії "зверху вниз" є побудова базової платформи, тобто верхнього транзитного рівня, для подальшого розширення мережі й впровадження перспективних послуг. Регіональні мережі можуть включатися в різний час у міру готовності.

#### **Стратегія "знизу нагору"**

Реалізація мережі починається з нижнього рівня, тобто з місцевих мереж. Переваги цієї стратегії полягають у тому, що впровадження системи СС №7 у багатьох регіонах мережі відбувається одночасно й незалежно один від одного, але мережа обмежується межами регіону (місцевої, внутрішньозонової мережами ТфМЗК, мережами юридичних і фізичних осіб). У цьому випадку не обов'язкова координація робіт з проектами верхніх рівнів мереж.

#### **Стратегія островів**

Застосування даної стратегії можливо в тому випадку, якщо цифровізована тільки частина мережі. Прикладами застосування цієї стратегії можуть служити:

- поява цифровізованих районів в умовах переважної аналогової мережі;
- необхідність впровадження нових перспективних послуг на базі ISDN-UP, IN, MUP.

При плануванні мережі доцільно керуватися однією з рекомендованих ІТУ-Т стратегій. Це або впровадження СС №7 зверху, тобто з більш високого ієрархічного рівня, або знизу, тобто з нижнього рівня. Третя стратегія - організація так званих "островів" - допускає більш прагматичний шлях до реалізації СС №7.

На мережі зв'язку України вже зараз частково реалізується стратегія островів.

### 3.3.2 Особливості побудови ЗКС №7 на мережах України.

Мережа СС №7 України являє собою сукупність SP і STP, взаємодіючих через зв'язані STP. Кожний SP опирається на 2-3 STP, що забезпечує надійність мережі й виконання норм на кількість транзитів (маршрут не повинен містити більш двох STP).

На мережі СС №7 України допускається використання як зв'язаного, так і квазізв'язаного режимів передачі. При достатньому навантаженні між КСЕ, між ними можуть організовуватися прямі пучки ланок сигналізації. У цьому випадку вони можуть використовуватися як прямі шляхи сигналізації, а маршрути через STP - як альтернативні.

Оптимізація топології мережі СС №7 України повинна проводитися з урахуванням:

- мінімізації кількості переприймань сигнальних повідомлень,
- мінімізації часу поширення сигнальних повідомлень від OPC до DPC,
- забезпечення максимальної доступності DPC.

Важливим критерієм побудови національної мережі СС №7 України є виконання норм якості й рівня обслуговування (Qos і Gos параметри ІТУ-Т E.721, E.723). Наприклад, структура мережі СС №7 повинна враховувати наявність наступної кількості пунктів комутації в з'єднанні (не більше):

Число пунктів комутації За нормами МСЕ	Тип зв'язку		
	місцева	міжміська	міжнародна
	n=4	n=7	n=10

При побудові мережі СС №7 важливим також є питання доцільності організації на національному рівні мережі транзитних пунктів сигналізації з функцією обробки повідомлень підсистеми керування сигнальним з'єднанням (вузли SPR) для забезпечення обміну сигнальною інформацією між інтелектуальними або рухомими мережами, що перебувають у різних зонах.

При використанні мережі СС №7 на МТМ вона повинна мати в основному зв'язаний спосіб побудови; квазізв'язаний спосіб призначений для роботи в аварійній ситуації або при перевантаженнях, що використовує альтернативні маршрути.

Важливим критерієм побудови національної мережі СС №7 України є виконання норм якості й рівня обслуговування. При застосуванні СС №7 на національній мережі обов'язкова наявність цифрових з'єднувальних ліній 64 кбіт/с між цифровими телефонними комутаційними станціями; наявність цифрових абонентів з доступом і послугами ISDN

Впровадження сигналізації СС №7 між цифровими комутаційними станціями залежить від наявності необхідних апаратних і програмних засобів і на підставі економічних обґрунтувань операторів мереж.

При обміні даними між вузлами SCP маршрутизація повідомлень по СС №7 може забезпечуватися двома способами:

1) Маршрутизація на рівні підсистеми МТР ( 3-й рівень) по аналізу коду вихідного пункту сигналізації й коду пункту призначення (OPC, DPC). Цей



спосіб доцільно застосовувати у випадку приналежності пунктів сигналізації однієї мережі (оператора) СС №7.

2) Маршрутизація на рівні підсистеми SCCP. Даний спосіб доцільно застосовувати при переході з однієї мережі СС №7 в іншу (наприклад, з національної мережі на міжнародну або в мережу оператора).

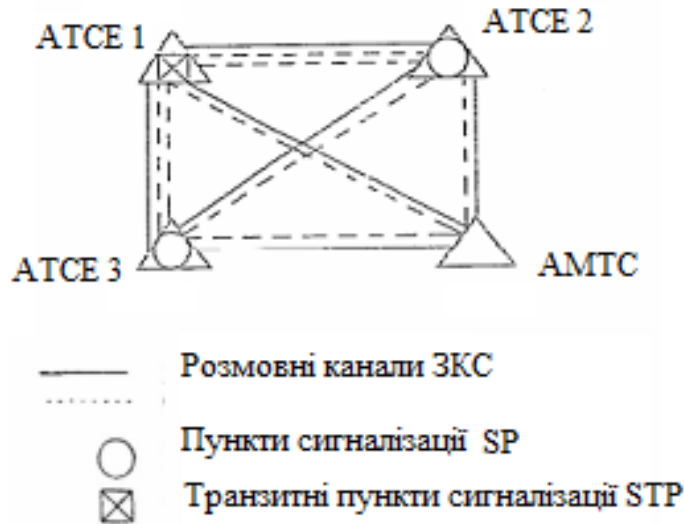


Рисунок – Приклад ЗКС №7 на МТМ без вузлоутворення

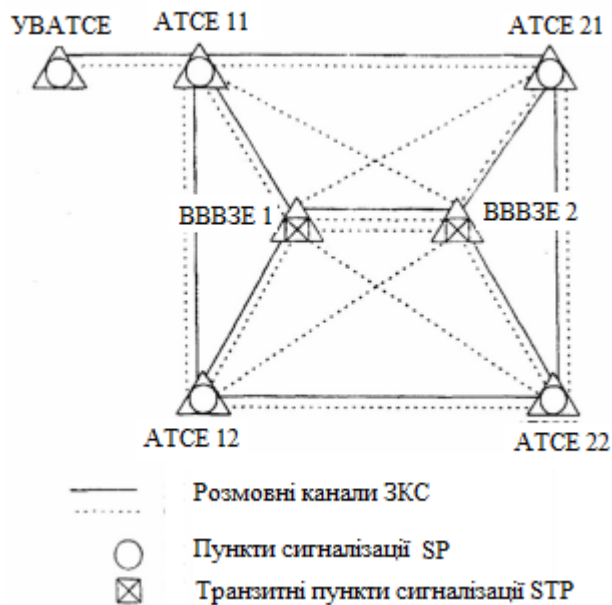


Рисунок – Приклад ЗКС №7 на МТМ з вузлоутворенням

*Особливості побудови мережі ЗКС №7 на сільських телефонних мережах*

Сільські телефонні мережі будуються за радіальною схемою, що в цілому зберігається й при впровадженні послуг ISDN і пов'язано, насамперед з низьким сукупним трафіком поперечних зв'язків між кінцевими станціями (КС)

і значними затратами на створення й експлуатацію цифрової первинної мережі. В основному при застосуванні КСЕ на СТМ повинна застосовуватися дволанкова структура ЦСЕ-КСЕ або ЦСЕ-Концентратори, або триланкова структура ЦСЕ-КСЕ-Концентратор. Забезпечення надійності досягається резервуванням ланок ЗКС або дублюванням сигнальних терміналів через неможливість організації альтернативних маршрутів.

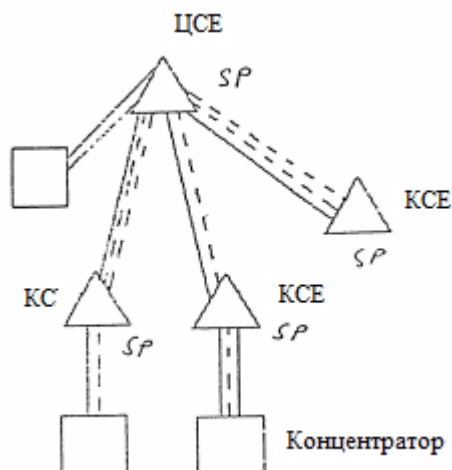


Рисунок 3 – Приклад ЗКС №7 на СТМ

На ділянках ЦСЕ-КСЕ повинен застосовуватися стик V.3 (PRA ISDN із системою сигналізації EDSS1) при ємності напрямку вторинної мережі до 30 каналів або стик А з сигналізацією по ЗКС №7 (підсистеми МТР і ISUP) для напрямків більшої ємності. Для зв'язку ЦСЕ з УВКС повинен застосовуватися стик V.3 (PRA ISDN з системою сигналізації EDSS1). Доцільність використання одного або іншого способу організації при зв'язку ЦСЕ-КСЕ повинна бути підтверджена техніко-економічним обґрунтуванні проекту відповідно до вихідних даних, надаваних виробником обладнання.

Зв'язок з концентраторами й мультиплексорами повинен проводитися з використанням інтерфейсу V.5.1/V.5.2 залежно від числа інформаційних каналів, що обслуговуються, або за допомогою каналів внутрішньостанційного зв'язку, якщо кінцева станція й концентратор належать до однієї системи КС.

Мережа ЗКС №7 районного центру повинна розглядатися, як мережа сигналізації, побудована на МТМ без вузлоутворення з включенням центральної станції (ЦС) на правах однієї з КС райцентру.

Для сигнального відношення ЦС-АМТС повинен використовуватися зв'язаний режим роботи із застосуванням резервування ланок сигналізації або дубльованих сигнальних терміналів, що визначається за критерієм найбільшої надійності при розрахунках мережі сигналізації.

### 3.4 Реалізація ЗКС №7 в цифрових системах.

#### 3.4.1 Принципи сигналізації в цифрових КС

Процеси сигналізації та синхронізації в цифрових КС важливі у контексті функціонування цифрової КС в мережі зв'язку. Функціонування цифрових КС зображено на рис.1.

Сигналізація визначається МСЕ як обмін інформацією (відмінної від мовної інформації), що стосується встановлення, звільнення та інших дій по керуванню з'єднаннями, а також керування мережею електрозв'язку при автоматичному способі встановлення з'єднання.

Сигналізацію можна розділити на три види:

- на сигналізацію „користувач-мережа”,
- мережну сигналізацію,
- сигналізацію „користувач-користувач” (рис. 2).

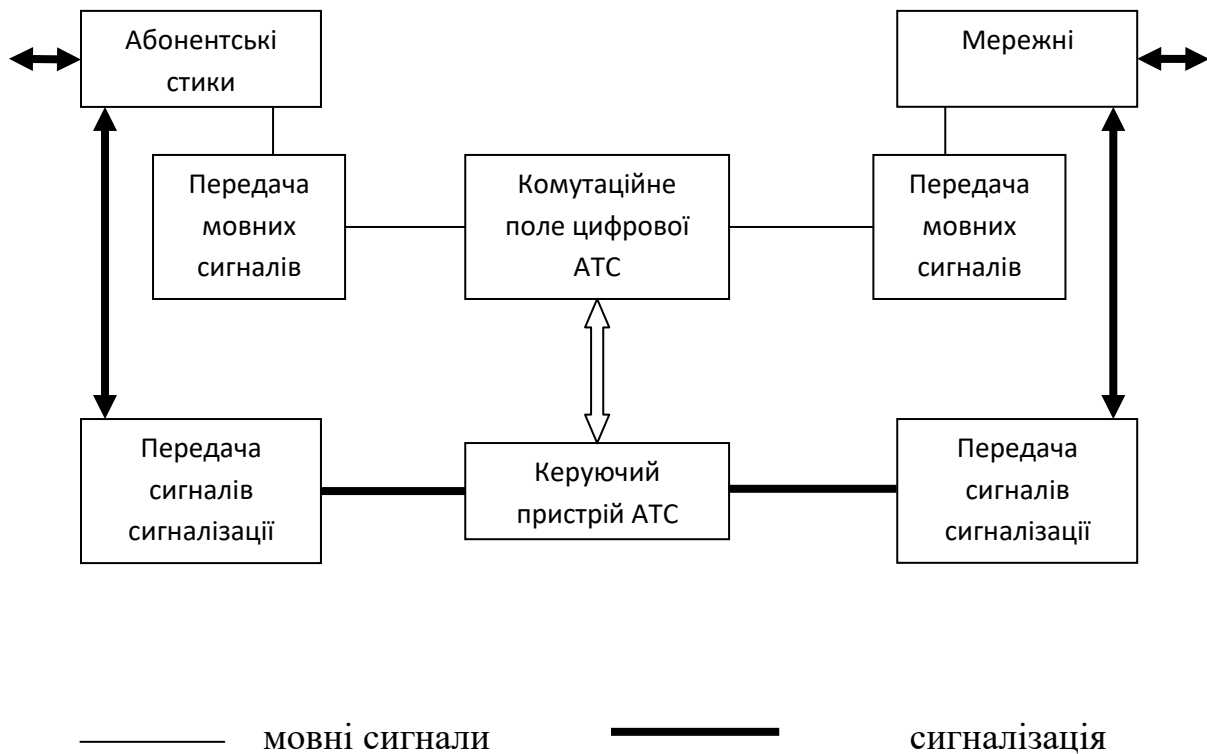


Рисунок 1 - Проходження мовних сигналів і сигналів сигналізації в цифровій КС:

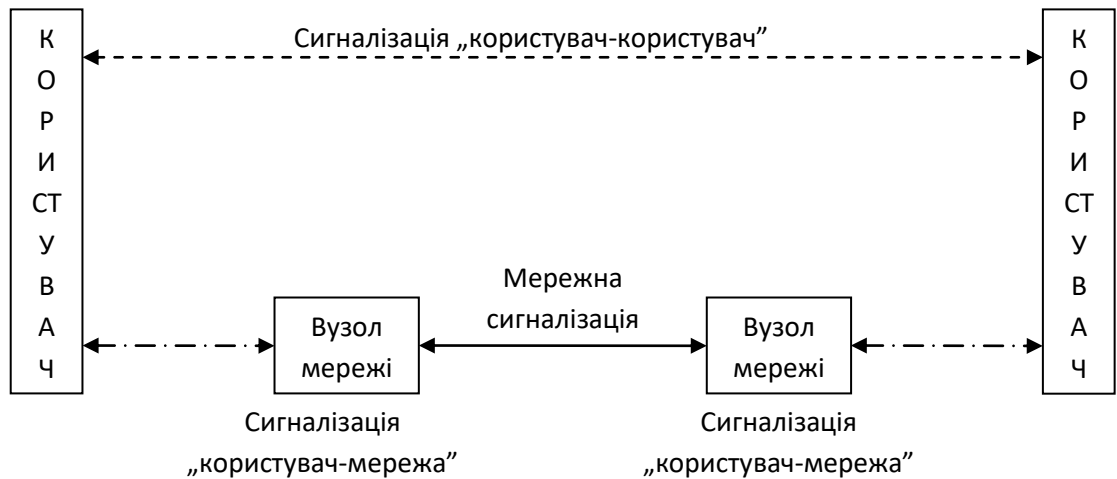


Рисунок 2 - Загальна класифікація сигналізації на мережі

*Сигналізація „користувач-мережа”* забезпечує користувача мовою для „розмови” з мережею з метою встановлення з’єднання з іншим користувачем. Ця сигналізація є єдиною „видимою” для користувача сигналізацією.

*Мережна сигналізація* використовується між вузлами мережі для передачі інформації, необхідної для встановлення і керування з’єднанням, враховуючи пошук місцезнаходження вузлів і розподіл ресурсів мережі.

*Сигналізація „користувач-користувач”* дозволяє узгоджувати і виконувати роботу терміналів користувача (якщо це потрібно). Прикладом сигналізації такого роду є сигналізація факсимільних апаратів, яка здійснюється вже після того, коли між факсами встановлене з’єднання.

Вище, при визначенні сигналізації, згадувались *сигнали сигналізації*. Ці сигнали розглядаються як переносчики інформації, що належить до певного каналу, визначеного вхідного повідомлення або до процедури керування мережею.

На практиці, сигналізація на мережі організовується у вигляді *системи сигналізації* – суворо заданої процедури інтерпретації та використання наперед визначеного набору сигналів сигналізації, а також технічного та (або) програмного забезпечення, яке необхідне для генерування, передачі і прийому цих сигналів.

### 3.4.2 Обладнання сигналізації сучасних ЦСК

Як правило, сучасні ЦСК у складі системи сигналізації мають такі виділені блоки:

- лінійної сигналізації (як правило, блок обслуговує 32 сигнальних КІ 16 і передбачає програмне встановлення різноманітних лінійних кодів);
- багаточастотної сигналізації (ці сигнали приймаються, обробляються й передаються у цифровій формі, зазвичай, один блок забезпечує обробку до 32-х сигналів одночасно й передбачає програмне встановлення різних сигналізацій – коду «2 з 6», R2D, DTMF);

- генерування акустичних сигналів – такий блок виробляє в цифровому вигляді усі потрібні тональні сигнали;
- ЗКС №7 (один блок, як правило, на 8 або 16 каналів сигналізації).

Загальні канали сигналізації й сигнальні КІ 16 напівпостійно промикаються комутаційним полем між відповідними зовнішніми трактами ІКМ і блоками сигналізації.

Блоки багаточастотної сигналізації працюють розмовними каналами, які промикаються до них за потреби сигнального обміну.

Інколи тональний генератор виробляє й частоти, потрібні для багаточастотної сигналізації. Тоді ці частоти комутуються цифровим комутаційним полем у потрібні розмовні канали у потрібні моменти часу з урахуванням заданої тривалості відповідного сигналу.

Кількість блоків лінійної сигналізації визначається у залежності від числа обслуговуваних ними каналів, блоків загальноканальної й багаточастотної сигналізації – в залежності від розрахованого навантаження.

У деяких ЦСК зазначені блоки можуть бути відсутніми – часом їх функції виконують сигнальні процесори, індивідуальні для кінцевого обладнання лінійних трактів.

### **3.4.3 Реалізація ЗКС №7 в сучасних цифрових СК.**

**EWSD.** Управляючий пристрій мережі загальноканальної сигналізації (CCNC) на АТСЕ типу EWSD функціонує як транзитний вузол сигнального трафіку (М'ТР) системи сигналізації № 7. До CCNC можна підключити до 254 ланок сигналізації через аналогові або цифрові лінії передачі даних. Цифрові тракти проходять від лінійних груп через обидві площини дубльованого комутаційного поля й мультиплексори до CCNC. CCNC підключається до комутаційного поля по ущільнених лініях, що мають швидкість передачі 8 Мбіт/с. Між CCNC і кожною площиною комутаційного поля є 254 канали для кожного напрямку передачі (254 пари каналів). По каналах передаються дані сигналізації через обидві площини комутаційного поля до лінійних груп і від них зі швидкістю 64 кбіт/с. Аналогові сигнальні тракти підключаються до CCNC за допомогою модемів. Для забезпечення надійності CCNC має дубльований процесор (процесор мережі сигналізації по загальному каналу, CCNP), який підключається до СР через систему шин, яка у свою чергу, також є дубльованою. CCNC складається з - максимально 32 груп з 8 кінцевими пристроями сигнальних трактів кожна (32 групи SILT) і - одного дубльованого процесора системи сигналізації по загальному каналу (CCNP).

Функціональна схема ЦСК EWSD представлено на рисунку 4.

**Alcatel 1000 E-10.** В теперішній час на цифрових мережах зв'язку загального користування загальноприйнятою ЗКС є рекомендована МСЕ система сигналізації № 7.

Основним призначенням ЗКС № 7 є забезпечення стандартизованої на міжнародному рівні системи ЗКС загального користування. ЗКС № 7 оптимізована для роботи в цифрових мережах зв'язку разом зі станціями, що керуються по записаній програмі.

ЗКС № 7 розрахована на застосування в міжнародних і національних мережах.

На АТСЕ типу Alcatel 1000 Е-10 сигналізація здійснюється за допомогою блоку Контролер мережі сигналізації по загальному каналу (CCNC).

CCNC виконує обмін повідомленнями між різними вузлами для управління і поточного контролю з'єднаннями і управління мережею сигналізації. Процесори у вузлі передають повідомлення, які потрібно передати в CCNC, з адресами відповідних процесорів-адресатів у вузлі призначення. З цієї інформації CCNC формує сигнальні повідомлення у форматі SS7 і передає їх по відповідним трактам сигналізації. При прийомі вхідних повідомлень CCNC перевіряє, чи призначені вони для процесора у власному вузлі чи вони повинні бути передані далі по вихідним трактам сигналізації в інший вузол.

**АТС КВАНТ-Е** являє собою сучасну цифрову систему комутації, що реалізує російський варіант системи сигналізації ЗКС №7 з підсистемою користувача ЦМІО (ISDN) - ISUP/R.

Функції сигналізації ЗКС №7 реалізовані в АТС КВАНТ-Е у вигляді апаратно - програмного комплексу.

Внутрішньосистемна сигналізація в цифровій системі комутації "Квант" організована по шістнадцятим КІ всіх внутрішніх трактів ІКМ між модулями системи (КМ, ВКМ, БАЛ, СЦТ, КЗЛ). У кожному КМ ці ВССК постійно проключені блоком УКС 32x32 на нульовий тракт ІКМ до пристрою каналу вводу-виводу, що тимчасово зберігає, перетворює й передає сигнальну інформацію з керуючого пристрою у ВССК і навпаки.

Схема з'єднання блоку УСС з цифровою системою комутації «Квант-Е» зображена на рисунку 3. Функціональна сема ЦСК Квант-Е представлено на рисунку 6.

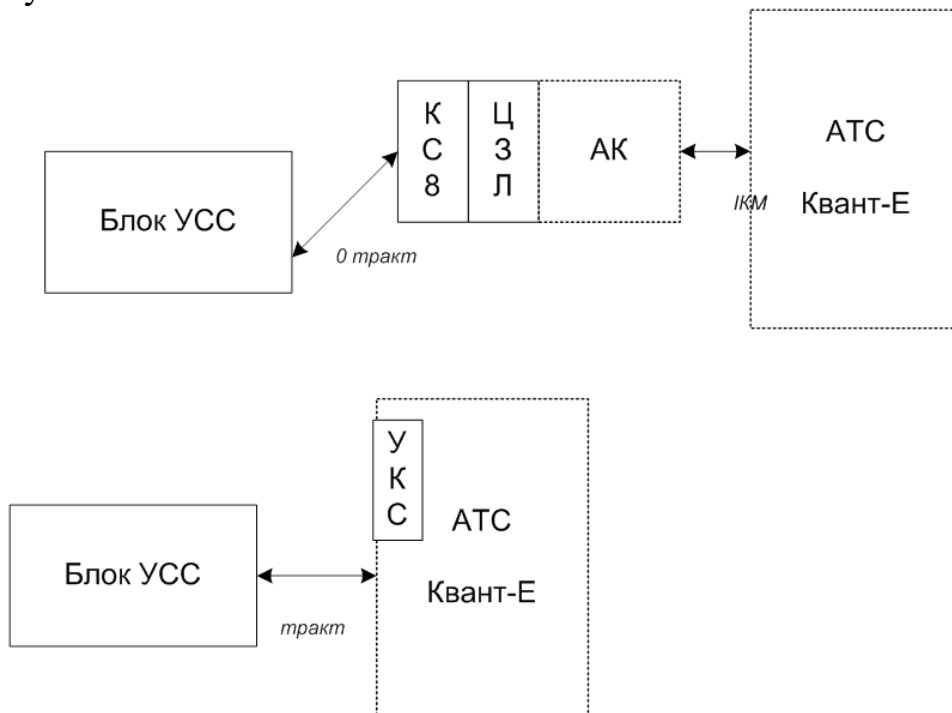


Рисунок 3 – Схема з'єднання блоку УСС з цифровою системою комутації «Квант-Е».

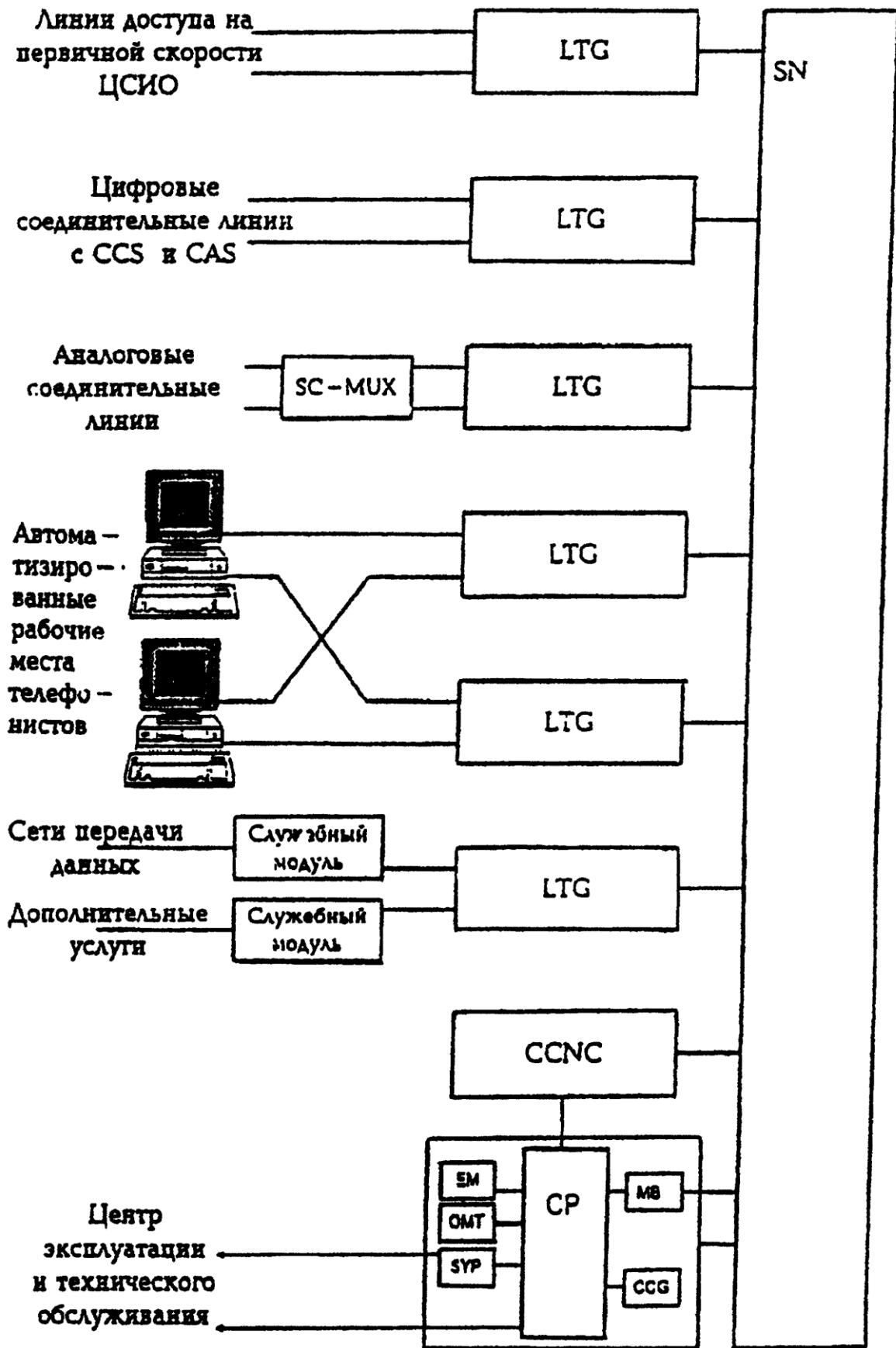


Рисунок 4 – Функціональна схема ЦСК EWSD

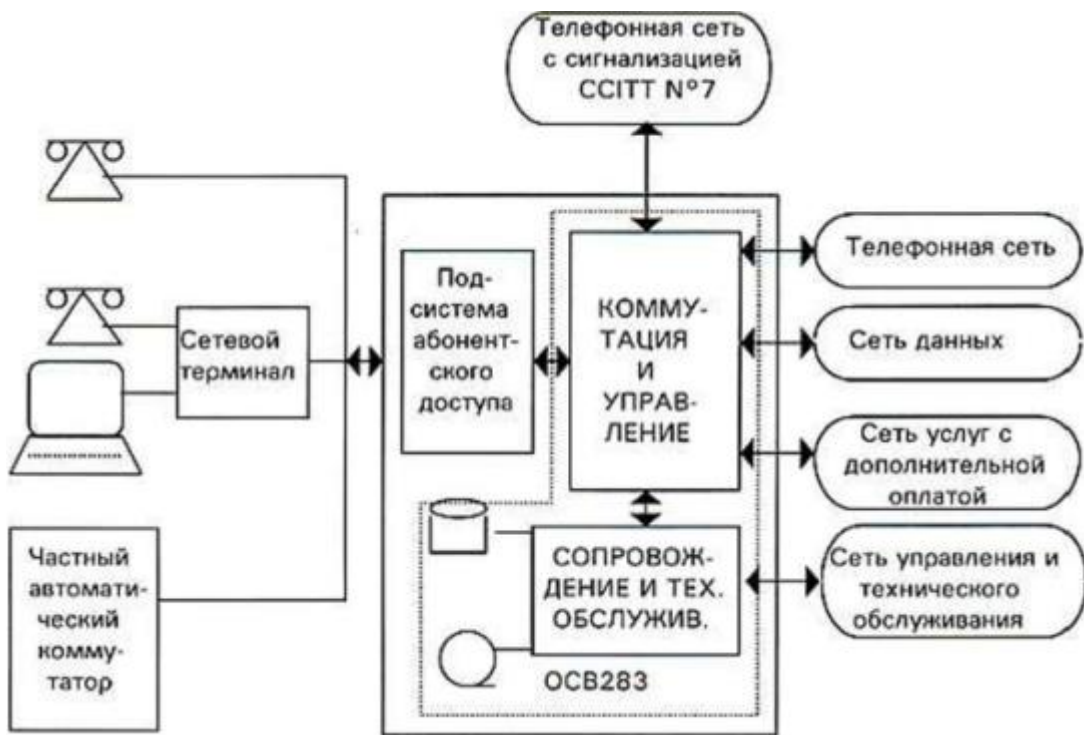


Рисунок 5 - Загальна функціональна схема ALCATEL1000 E10



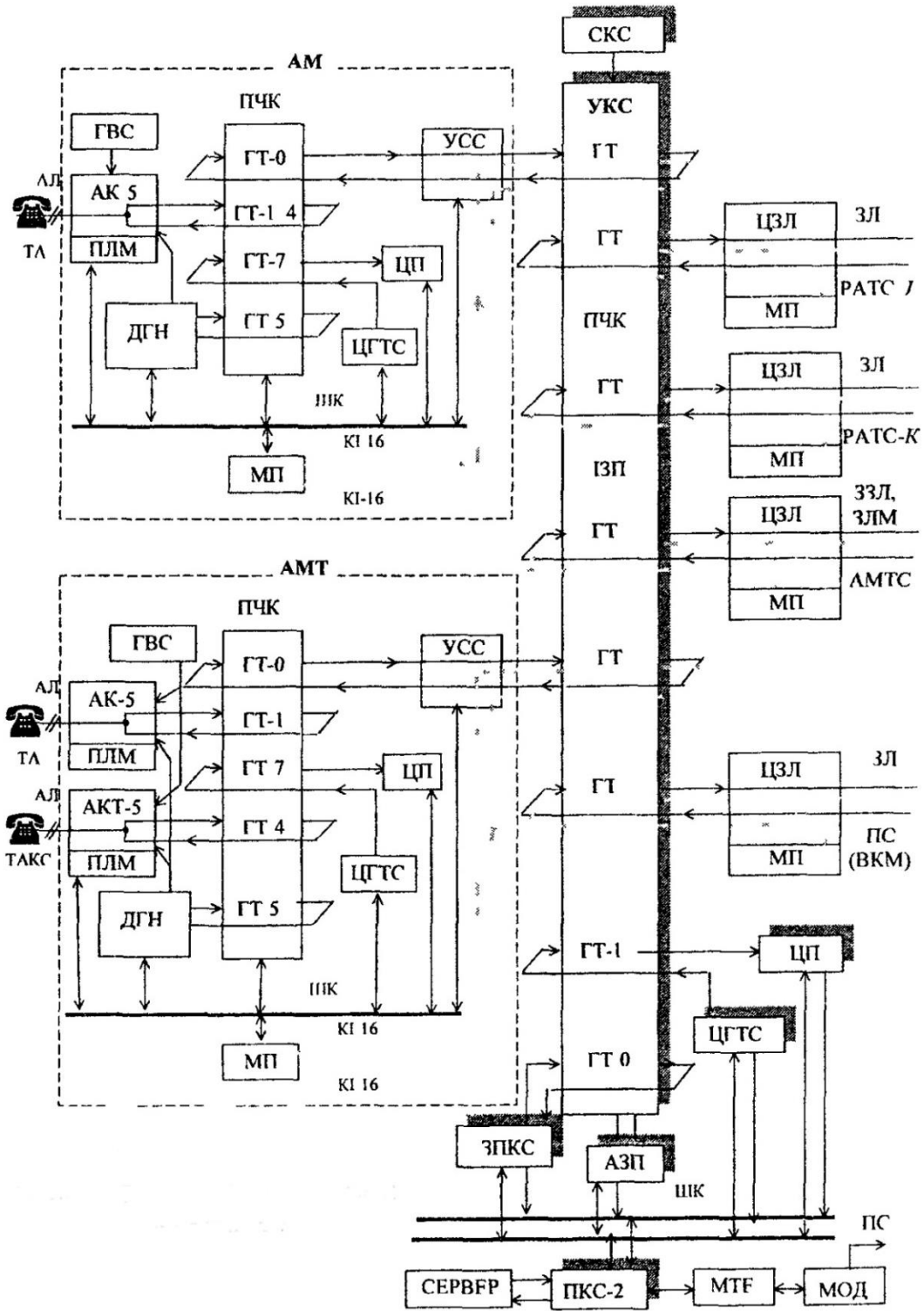


Рисунок 6 – Функціональна схема ЦСК Квант-Е

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком “Телекомунікації”/ За ред. В.К. Стеклова. – К.:Техніка, 2002. – 792 с.
2. Бирюков Н.Л., Стеклов В.К. Транспортные сети и системы электросвязи. Системы мультиплексирования: Учебник для студентов вузов по специальности «Телекоммуникации»./Под ред. В.К. Стеклова. – К.: 2003, - 352 с.
3. Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Стеклов В.К. Сучасні цифрові системи комутації: Підручник/За ред. В.Г. Кривуци. - К.: ДУІКТ, 2010 – 389 с.
4. Росляков А.В. Общеканальная система сигнализации. М.: «Радио и связь», 1998.
5. Чеусов В. Введение в систему сигнализации №7 МСЭ. УНИИС, - К., 1998.
6. Нетудихата Л.І., Кирпач Л.А., Сторчак К.П., Катасова Н.В. Методи фазової синхронізації в пристроях зв'язку: Навч. посібник – К.:УНДІЗ, 2001.– 83 с.
7. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Softswitch. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006.-368 с.
8. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH.- М.: «Радио и связь», 1998.
9. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Нові інформаційні технології: транспортні мережі телекомунікацій. – К.: Техніка, 2004.
10. Сигналізація й синхронізація в телекомунікаційних системах / В.І. Борщ, Є.І. Коршун, Ю.Г. Туманов, М.О. Чумак.- К.: Наукова думка, 2004.
11. Нетудихата Л.І., Кирпач Л.А. Неперервні та цифрові системи фазової синхронізації.: Навч. посібник – К.: УНДІЗ, 2001. – 81 с.
12. Боркун М.А., Ходасевич О.Р. Цифровые системы синхронной коммутации. - М.: Эко - Трендз, 2001.