

11. Синхронна тактова синхронізація та її впровадження на первинній мережі України

11.1 Типи синхронізації в електрозв'язку

При мережевій синхронізації забезпечується розподіл часу і частоти по мережі генераторів, розміщених у досить великому географічному просторі. Задача полягає у вирівнюванні тимчасових і частотних шкал усіх генераторів з використанням пропускну здатності з'єднуючих їх ліній зв'язку (наприклад, мідних і волоконно-оптичних кабелів, радіоліній). Нижче перераховані лише деякі з найбільш відомих застосувань мережної синхронізації:

- синхронізація генераторів, розміщених у різних точках мультиплексування і комутації цифрової мережі зв'язку;
- синхронізація генераторів мережі зв'язку, що вимагають деяких форм багатократного доступу з тимчасовим поділом каналів, таких як супутникова мережа, глобальна система мобільного зв'язку GSM (Global System for Mobile communications), мобільні термінали і т.д.;
- вимірювання відстаней між двома вузлами мережі і визначення місця розташування і навігації користувачів мережі;
- фазування антенних решіток.

Мережева синхронізація грає головну роль у цифровому зв'язку, створюючи важливий вплив на якість більшості послуг, які пропонують оператори своїм клієнтам.

Для багатьох інженерів електрозв'язку термін *синхронізація* найчастіше означає тільки виділення і відстеження тактової частоти, що міститься в періодичній тимчасовій структурі прийнятого сигналу. Насправді синхронізація відіграє головну роль у деяких областях електрозв'язку. Нижче перераховані типи синхронізації в електрозв'язку на різних рівнях абстракції:

- *синхронізація по несучій частоті*, тобто виділення в когерентному демодуляторі несучого коливання з модульованого сигналу;
- *синхронізація по символах*, тобто ідентифікація в цифровому демодуляторі часу дискретизації і часу прийняття рішення для вилучення логічної інформації з прийнятого аналогового сигналу;
- *синхронізація по циклах*, тобто визначення початку і кінця кодових слів, груп кодових слів (циклів) або виділення циклу в неопрацьованому і нерозділеному потоці прийнятих бітів;
- *пакетна синхронізація*, тобто вирівнювання затримок у часі надходження пакетів при їхній передачі через мережу з комутацією пакетів з метою відновлення постійної швидкості в каналі користувача;

- *мережева синхронізація*, тобто розподіл загального синхросигналу по мережі генераторів, розташованих у досить великому географічному просторі;
- *мультимедійна синхронізація*, тобто гармонічне сполучення різнорідних елементів зображень, тексту, звуку, відео і т.д. у мультимедійному зв'язку на різних рівнях інтеграції. Наприклад, фізичному і користувальницькому;
- *синхронізація годин у реальному часі*, тобто передача по мережі електрозв'язку сигналів абсолютного часу (наприклад, національного стандарту часу) головним чином для цілей керування мережею.

11.2 Необхідність системи тактової синхронізації для мережі СЦ

Проблеми, пов'язані з синхронізацією цифрових пристроїв, виникли з появою цифрових методів передавання інформації. І дійсно, будь-яка процедура дискретизації, передавання та прийому бінарного сигналу або кодованого бінарного сигналу потребує узгодженості частот передавання та прийому. Якщо цього не забезпечити, інформація, що передається, буде прийнята некоректно. Головною метою синхронізації є забезпечення однакових або кратних тактових частот генераторів усіх цифрових пристроїв, що складають мережу телекомунікацій.

Для досягнення мети 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, викликані температурними та іншими змінами, довівши її до цілого значення періоду циклу, щоб фази циклу в кожній лінії передавання точно збіглися;
- підтримувати синхронізацію мережі в будь-який час незалежно від аварій та перемикань, що виникають у процесі експлуатації.

Підсумовуючи сказане, можна зробити висновок про необхідність синхронізації усіх цифрових пристроїв мережі незалежно від того, на якому рівні мережі ці пристрої розміщені. Незважаючи на це, сучасні методи проектування та побудови мереж телекомунікацій встановлюють деяку пріоритетність у побудові систем синхронізації. В телекомунікаціях первинна (транспортна) мережа є ядром і забезпечує не тільки транспортування трафіка вторинних мереж, а й також передавання сигналів синхронізації. Тому первинна мережа є першим рівнем мережі синхронізації, від якого здійснюється синхронізація усіх видів вторинних

мереж з урахуванням, звичайно, особливостей архітектури останніх. Далі мова йтиме в основному про організацію першого рівня мережі синхронізації.

Технологія SDN, яка нині є основою транспортних мереж, для забезпечення високої якості послуг потребує синхронної роботи усіх її складових з високим рівнем стабільності. Це визначає роль мережі синхронізації.

Рівень проблем, пов'язаних з синхронізацією, знаходиться в прямій залежності від рівня цифровізації усіх видів мереж, тобто від загальної кількості цифрових пристроїв, що встановлені на мережі телекомунікацій. При невеликій їх кількості та незначній розосередженості завдання синхронізації можуть вирішуватись індивідуально окремими операторами, які не вбачають у цьому значних проблем. Проте зі швидким розвитком цифрової мережі проблеми синхронізації вже не можуть вирішуватись приватне і виникає потреба системного підходу. Також заслуговує на увагу проблема управління мережею синхронізації як на рівні одного оператора, так і на міжоператорському рівні.

11.3 Класифікація режимів та методів синхронізації мереж

11.3.1 Режими синхронізації мереж

Рекомендацією МСЕ-Т G.803. визначено 4 режими роботи мережі синхронізації рис.11.1.

1) синхронний;

2) плезіохронний;



Рис 11.1 - Режими синхронізації

3) псевдосинхронний (змішаний); 4) асинхронний.

Синхронний режим є звичайним в регіоні обслуговування одного оператора. Це є стан синхронної мережі, в якому всі пристрої синхронізації мають бути веденими єдиним первинним пристроєм синхронізації (єдиним PRC).

Плезіохронний режим визначають або як такий, в якому всі пристрої синхронізації працюють з одноковою номінальною частотою та будь-які відхилення від неї не мають перевищувати визначених границь [21], або стан синхронної мережі, в якому дійові або резервні канали синхронізації не сягають одного або кількох пристроїв синхронізації. З одного боку, це є звичайний режим роботи між національними мережами за умови, що різниця їх тактових частот не перевищує 1×10^{-11} , з іншого – це є режим роботи мережі синхронізації за умови аварійного стану каналу синхронізації або відсутності такого каналу пристрої синхронізації працюють в режимі утримання частоти або в режимі вільних коливань, але за умови, що їх характеристики відповідають вимогам Рекомендації ІТУ-Т G.811. За такої умови в елементах мережі SDH виникатиме узгодження швидкостей, яке необов'язково має бути причиною просковзувань.

Псевдосинхронний режим визначають як стан синхронної мережі, в якому не всі пристрої синхронізації є веденими єдиним первинним пристроєм синхронізації. Це є звичайний режим роботи між мережами різних операторів, або між різними регіонами обслуговування одного оператора. Необхідно лише, щоб характеристики кожного PRC відповідали вимогам [22]. За такої умови в елементах мережі SDH на межі між різними регіонами обслуговування виникатиме узгодження швидкостей, яке необов'язково має бути причиною просковзувань.

Асинхронний режим – це де граційний стан синхронної мережі, в якому між елементами мережі має місце велика різниця частот. Транспортна мережа SDH зберігатиме цілісність трафіка доки характеристики пристроїв синхронізації елементів мережі відповідатимуть вимогам [24], тобто їх вихід частоти не перевищуватиме $4,6 \times 10^{-6}$, але такий режим не підпадає під поняття “синхронної мережі”.

11.3.2 Методи синхронізації мереж

Обґрунтування вибору методу або сукупності методів синхронізації мережі зв'язку є проблемною задачею стратегії синхронізації ЦМЗ (Цифрова мережа зв'язку). При цьому рішення проблеми шукається роздільно для міжнародної і для національної мереж [2].

Рекомендація передбачає використання плезіохронного методу синхронізації у міжнародній цифровій мережі, а в майбутньому можливо створювання синхронної міжнародної мережі. Обґрунтування вибору методу синхронізації національної цифрової мережі зв'язку відноситься до компетенції національних адміністрацій зв'язку. При цьому у відповідності з вищеназваною рекомендацією необхідно забезпечити якість переміщення інформації, що впливає з вимог забезпечення середнього інтервалу часу між двома проковзуваннями не менш 70 діб. Ця вимога витікає з наступних міркувань. Відносна різниця частот тактових генераторів двох любих комутаційних станцій мереж зв'язку повинно задовольняти умові :

$$\frac{f_{л} - f_{цск}}{f_{цск}} \leq \delta, \quad (11.1)$$

де

$f_{л}$ - частота ТГ сигналу зустрічної станції, що надходить з лінії;

$f_{цск}$ - частота ТГ ЦСК.

Рекомендація величину δ визначає рівною 10^{-11} для міжнародних цифрових мереж зв'язку. В цьому випадку для цифрових потоків з тривалістю циклу, рівною 125 мкс, одержимо середній інтервал часу між двома проковзуваннями:

$$T = 125 \cdot 10^{-6} \frac{f_{л} - f_{wcr}}{f_{wcr}} = \frac{125 \cdot 10^{-6}}{10^{-11} \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24} \cong 70 \text{ діб}. \quad (11.2)$$

Синхронна цифрова мережа – ЦМЗ, в якій управління ТГ здійснюється таким чином, щоб вони працювали з однаковими частотами, або з однією й тією ж частотою при обмеженому відносному фазовому зсуві. В ідеальному випадку ТГ являються синхронними, але на практиці можуть бути мезахронними

Асинхронна цифрова мережа – ЦМЗ, в якій від ТГ не потрібно, щоб вони були синхронними або мезахронними. Часто в асинхронній мережі зв'язку для об'єднання асинхронних сигналів виконують узгодження швидкості цифрових потоків за допомогою цифрового вирівнювання.

Цифрове вирівнювання здійснюється шляхом передачі допоміжної інформації про не узгоджування швидкостей цифрових потоків передавальних станцій і на основі цієї інформації введення або виключення допоміжних символів на приймальній станції. Це призводить до зниження ефективності

використання пропускної спроможності цифрового тракту, ускладнення обладнання і практично виключає можливість часової комутації. При цьому асинхронні мережі зв'язку з використанням методу узгодження швидкостей не знайшли широкого використання в інтегральних ЦМЗ.

Частковим випадком асинхронної мережі є плезіохронна мережа, в якій тактові синхросигнали одержують від незалежних високо стабільних задаючих генераторів.

Плезіохронна мережа передбачає наявність в кожному пункті, де розташовані джерела даних і в пунктах об'єднання потоків інформації автономних високо стабільних ТГ. Очевидною перевагою плезіохронної мережі є практично повна незалежність роботи ТГ від стану мережі. Крім того, відпадає необхідність синхронізації територіально розділених ТГ в період експлуатації, а разом з цим з'являється можливість виключити допоміжні канали, призначені в інших методах синхронізації для передачі хронуючої інформації, тобто поліпшити ефективність ЦМЗ.

Недоліками плезіохронної мережі є: - принципова наявність проковзування цифрового сигналу через кінцевої стабільності ТГ і обмеженого об'єму еластичної пам'яті; - досить велика вартість високо стабільних ТГ, та їх мала надійність.

Виходячи з вищесказаного можна зробити висновок, що широке застосування плезіохронного режиму через технічні і економічних факторів, в теперішній час, являється обмеженим. Враховуючи рекомендації МСЕ, плезіохронний режим необхідно застосовувати для роботи між національними синхронними мережами. Крім цього можна рекомендувати застосування цього методу в окремих випадках при будівництві спеціальних локальних ЦМЗ з невеликою кількістю ТГ, в яких допустимо виникнення проковзувань.

В синхронній ЦМЗ підтримування потрібних частотних і фазових співвідношень між тактовими синхросигналами, що виробляються усіма ТГ мережі, здійснюється завдяки управлінню частотою (фазою) сигналів тактових генераторів. Проведемо класифікацію синхронних ЦМЗ в залежності від управління кожним ТГ мережі. Найбільша кількість управляючих зв'язків між ТГ мережі існують у взаємно синхронізованій ЦМЗ. В цій мережі кожний ТГ здійснює управління всіма іншими ТГ. Взаємно синхронізована ЦМЗ, у якій всі ТГ в рівній мірі здійснюють управління іншими ТГ мережі, має обмеження по управлінню і, відповідно, така рівноправна взаємно синхронізована ЦМЗ є частним випадком взаємно синхронізованої ЦМЗ. Робоча частота мережі відповідає середньому значенню власних частот всіх ТГ мережі.

У випадку, коли деякі ТГ здійснюють управління в більшій мірі, ніж інші, ЦМЗ називається ієрархічно взаємно синхронізованою. Робоча частота мережі відповідає середньозваженому значенню власних частот всіх ТГ. За наявності тільки одностороннього управління і одного ведучого ТГ, управляючого всіма іншими ТГ, ієрархічно взаємно синхронізована мережа перетворюється в ієрархічну примусово синхронізовану ЦМЗ.

Олігархічно синхронізована ЦМЗ – мережа, в якій управління синхронізацією здійснюється декількома ведучими ТГ, які управляють останніми ТГ.

Взаємна синхронізація ТГ дозволяє забезпечити високу живучість мережі при порушенні її вихідної конфігурації за рахунок великої кількості управляючих мереж між ТГ, а також в такій мережі не обов'язково застосування високо стабільних ТГ.

Рівноправно взаємно синхронізовані цифрові мережі, створені в Японії, є локальними мережами. В таких мережах стабільність тактової частоти мережі визначається стабільністю кожного ТГ, так як в мережі здійснюється управляема взаємодія між всіма ТГ. Зміна частоти любых ТГ призводить до зміни частоти всіх ТГ мережі, причому нове установлене значення буде мати місце на всіх ТГ мережі. Відносна нестабільність частоти тактових генераторів звичайно складала величину $\delta = 10^{-7} \dots 10^{-8}$.

Для взаємодії між синхронними мережами в плезіохронному режимі МСЕ у 1976 році встановив, що відносна нестабільність частоти повинна бути $\delta = 10^{-11}$. Як реалізація цієї вимоги з'явилися розробки ієрархічно взаємно синхронізованих мереж, в яких на станціях високого рівня ієрархії застосовуються високо стабільні ТГ. При цьому робоча частота мережі відповідає середньозваженому значенню частот всіх ТГ, причому найбільшу питому вагу мають частоти високо стабільних ТГ.

До недоліків взаємно синхронізованої ЦМЗ можна віднести значне збільшення короткочасної нестабільності робочої частоти мережі, яка виникає внаслідок впливу додаткових динамічних нестабільних завад на лінії, короткочасні зміни конфігурації мережі, зміни часу розповсюдження цифрового сигналу в лінії зв'язку і т. д. Спроба покращити параметри системи взаємно синхронізованих ТГ: застосування двохполюсного управління синхронізації ТГ, введення регульованих затримок, використання фазових дискримінаторів з зоною нечутливості, – приводять до ускладнення обладнання, збільшення об'єму обладнання, зниження надійності.

Виходячи з вищесказаного можна зробити висновок, що застосування взаємної синхронізації ТГ, рівноправної взаємної синхронізації ТГ доцільно в окремих випадках. Зокрема на локальних ЦМЗ, для яких не потрібна взаємодія з іншими мережами в плезіохронному режимі; на мережах, де практично відсутні або незначні додаткові динамічні нестабільності. Ієрархічна взаємна синхронізація ТГ дозволяє розширити область застосування взаємної синхронізації ТГ і на мережах, які здійснюють взаємодію з іншими мережами в плезіохронному режимі, а також в майбутньому при наявності зовнішньої синхронізації ТГ вищого рангу на мережі, здійснюючи взаємодію з другими мережами в синхронному режимі.

По мірі вдосконалювання побудови генераторного обладнання появи високоякісних цифрових інтегральних мікросхем, зокрема, мікропроцесорів, набування досвіду розробки і експлуатації систем синхронізації особливу увагу стали приділяти примусово ієрархічно синхронізованим ЦМЗ.

Крім загальних причин, що впливають на вибір цього способу, слід відзначити, що примусова ієрархічна ЦМЗ має високу “живучість” завдяки наявності додаткового управління синхронізацією та ієрархічному розподілу ТГ; можливість плезіохронної взаємодії з іншими мережами у випадку використання обмеженого числа високо стабільних ТГ (ведучих), а при синхронізації останніх – синхронна взаємодія порівняно простого обладнання системи синхронізації. Суть ієрархічно примусової синхронізації ТГ ЦМЗ полягає у наступному. Кожному ТГ мережі присвоюється ранг, який залежить від стабільності ТГ, якості тракту розподілу тактової частоти, взаємозв’язку з іншими ТГ. В залежності від стану тракту розподілу тактової частоти, що зв’язує ведучий (ВТГ) з відомим (ВдТГ), останній може синхронізуватися від основного тракту, резервного тракту, власного високо стабільного ТГ або працювати з “запам’ятованим” значенням частоти. З метою здійснення однозначного вибору ВТГ і оптимальної організації ієрархії мережі передбачається передача разом з тактовими синхросигналами пакета маркерних імпульсів.

Примусово синхронізована ЦМЗ дозволяє забезпечити високу якість синхронізації ТГ при достатньо простому обладнанні і обмеженому числі високо стабільних ТГ. Недоліком такого методу синхронізації є його мала надійність, обумовлена ймовірністю виходу з строю ведучого ТГ. Застосування примусової синхронізації ТГ від ВТГ доцільно здійснювати для мережі, яка має радіальну структуру і відсутні зв’язки між синхронізованими ТГ.

Таким чином, можна зробити висновок, що розвиток тактової синхронізації ЦМЗ йде по шляху створювання примусово ієрархічно

синхронізованих ЦМЗ на національних мережах, використанні на вищих рівнях ієрархії високо стабільних ТГ, що дозволяє здійснити плезіохронний режим роботи на міжнародних мережах.

11.4. Методи СТС, що застосовуються на мережі України.

11.4.1 Короткий огляд систем тактової синхронізації деяких країн світу

Розглянемо побудову мереж СТС у Франції та Італії, як близьких по площі до території України. У ряді інших країн досить докладно питання розглянуте в [5, 6] (Швейцарія, США, Японія).

Франція (France Telecom - основний оператор).

Телефонні мережі і мережі передачі даних France Telecom були синхронізовані з 1975 р. за допомогою мережі синхронізації, що включає більш 800 вузлів.

Мережева архітектура являє собою звичайну стратегію «ведучий — відомий» з чотирма ієрархічними рівнями. На нульовому рівні ієрархії встановлені два еталонні генератори, розташовані в Парижі (Сент Аман) і Ліоні (Се-виль). Вузлами першого і другого рівня служать пристрої синхронізації на транзитних станціях. Вузли нижніх рівнів — це пристрої синхронізації цифрових комутаторів на місцевих станціях і первинні мультиплексори.

Два ПЭГ (PRC) містять дубльовані цезієві первинні стандарти частоти. Тому при нормальній роботі мережа синхронізації складається з двох як би плезіохронних підмереж. Всі інші пристрої синхронізації на першому і другому рівнях цієї мережі містять дубльовані кварцові генератори.

Міжстанційний розподіл синхросигналу здійснюється по виділених каналах Е1 зі швидкістю 2,048 Мбіт/с між вузлами нульового і першого рівнів та по робочих каналах Е1, що переносять трафік між вузлами нижніх рівнів. Для забезпечення високої надійності всі канали дубльовані або додатково зарезервовані.

Пізніше для задоволення новим вимогам синхронізації СЦИ France Telecom обновила мережу синхронізації. Нова мережа включає більш 1200 вузлів і має колишню архітектуру. Планується, що ця мережа буде підтримуватися системою керування TMN (мережа керування електрозв'язком) і системою моніторингу робочих характеристик. Нові пристрої синхронізації SASE обладнані кварцовими генераторами високої стабільності. Вхідними і вихідними сигналами інтерфейсів синхронізації є сигнали 2,048 Мбіт/с і 2,048 МГц.

Італія (Telecom Italia - основний оператор).

Нова мережа синхронізації Telecom Italia розроблялася і вводилася в експлуатацію з початку 1994 р., щоб замінити чотири мережі синхронізації новою сучасною мережею, що відповідає самим останнім вимогам рекомендацій і стандартів.

Нова мережа синхронізації розроблена відповідно до того ж принципу «ведучий-відомий». При розробці топології мережі головною метою було підвищення надійності: усі вузли можуть синхронізуватися по декількох рознесених маршрутах. Структура нової мережі синхронізації Telecom Italia показана на рис.11.2.

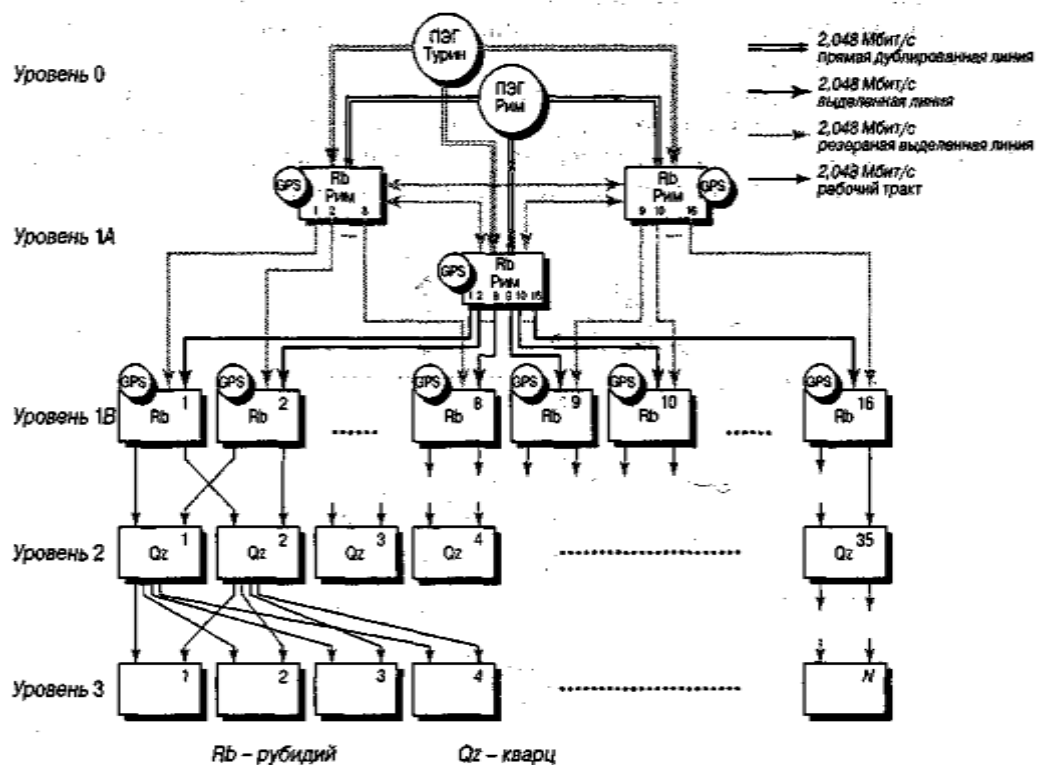


Рисунок 11.2 – Структура мережі синхронізації Telecom Italia

На нульовому рівні в якості мережевого ПЭГ використовується національний еталонний генератор (ПЭГ), встановлений у Римі в приміщенні італійського інституту пошти й електровз'язку (ISPT). Другий, резервний цезієвий первинний стандарт частоти ПЭГ розміщений у Національному електротехнічному інституті імені Галілея (IENGF) у Туріні.

На рівні 1A встановлені три нових пристрої синхронізації SASE, розташовані в Римі. Вони знаходяться в тих же приміщеннях транзитних станцій, де розташовувалися три пристрої синхронізації SASE колишньої мережі синхронізації телефонної цифрової комутаційної мережі. Ці три пристрої

синхронізації SASE обладнані рубідієвими вторинними стандартами частоти і приймачами GPS. Кожен пристрій синхронізації SASE рівня 1A с допомогою двох резервованих прямих каналів 2,048 МГц, по оптичному волокну, синхронізується від основного ПЭГ, розміщеного в Римі. Для резервування вони з'єднані двома виділеними каналами 2.048 Мбіт/с систем передачі ПЦІ, з другим ПЭГ у Туріні. Для захисту від відмов обох каналів ПЭГ у кожному вузлі SASE усі три пристрої синхронізації SASE зв'язані за принципом «кожний з кожним» трактами 2,048 Мбіт/с систем передачі ПЦІ в ґратчастій структурі мережі виділених каналів. Таким чином, кожен пристрій синхронізації SASE рівня 1A має максимально зарезервовані входи: два сигнали від основного ПЭГ у Римі, два сигнали від другого ПЭГ у Туріні, два сигнали від двох інших вузлів рівня 1A і один сигнал від місцевого приймача GPS. Для запобігання петель синхронізації, після переключень на резервний синхросигнал, використовуються повідомлення про статус синхронізації SSM. Опорний сигнал GPS використовується, якщо пропадають всі інші опорні сигнали.

На рівні 1B встановлені 16 пристроїв синхронізації SASE, розташовані в приміщеннях транзитних станцій. Вони, як і вузли рівня 1A, обладнані рубідієвими стандартами частоти і приймачами GPS. Кожен пристрій синхронізації рівня 1B приймає два опорних сигнали від двох вузлів рівня 1A по виділених каналах 2,048 Мбіт/с систем ПЦІ. У цьому випадку, для запобігання петель синхронізації після захисних переключень, також використовуються SSM, а каналові GPS привласнений найнижчий пріоритет у ресурсах резервування. Пристрій синхронізації рівня 1A синхронізує всі пристрої синхронізації рівня 1B.

На рівні 2 розміщені 35 (за першим планом синхронізації) пристроїв синхронізації SASE, встановлених в інших будинках транзитних станцій. Ці пристрої обладнані термостатованими кварцовими генераторами високої точності і приймають по двох опорних сигнали від двох різних вузлів рівня 1B по виділеним або частіше по робочих сигналах 2,048 Мбіт/с мережі ПЦІ.

На рівні 3 розташовані кілька сотень пристроїв синхронізації SASE, обладнані такими ж кварцовими генераторами, як і вузли рівня 2, і встановлені в будинках місцевих станцій. Кожен пристрій синхронізації рівня 3 приймає по два еталонних сигнали від двох різних вузлів рівня 2 по робочих сигналах 2,048 Мбіт/с систем передачі ПЦІ.

Архітектура, що розглянута вище, відповідає планові 1994 р. Проте, з цього ж року для міжстанційного розподілу по міру заміни систем передачі ПЦІ на СЦІ

було заплановано використовувати для передачі синхросигналів потоки STM-N.

Географічне розміщення основних вузлів нової мережі синхронізації Telecom Italia показано на рис. 11.3.

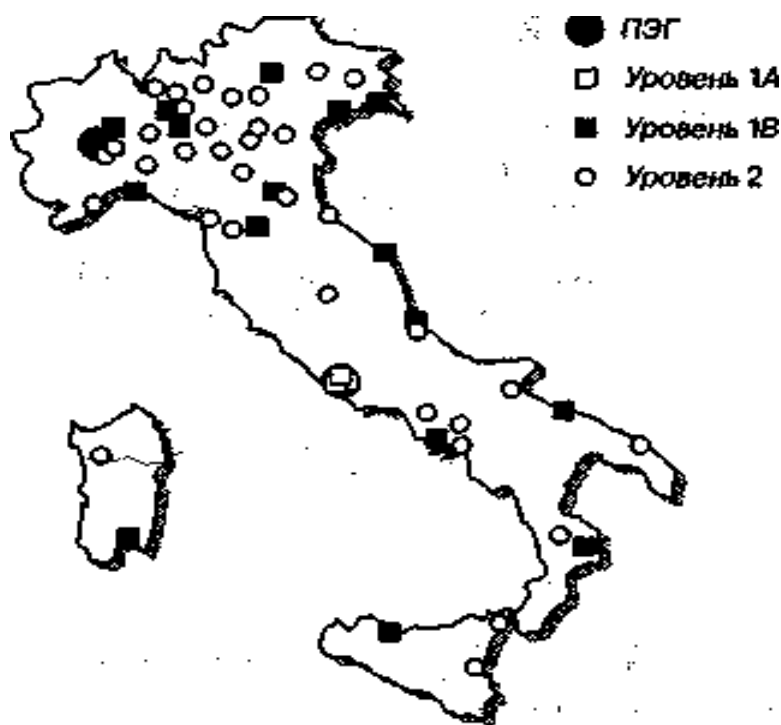


Рисунок 11.3 – Розміщення основних вузлів мережі синхронізації Telecom Italia

11.4.2 Огляд системи тактової синхронізації ВАТ “Укртелеком”

В Україні головний оператор зв'язку – Укртелеком, і мережа СТС України будується на базі цифрової мережі зв'язку Укртелекому, до якої пред'являються вимоги більш високі, чим визначають міжнародні рекомендації для кінця ланцюга передачі синхросигналу. У будь-якій точці мережі СТС, що належить Укртелекому, якість сигналів синхронізації повинна бути значно кращою, ніж допускається на кінці ланцюга передачі синхросигналу. Крім того, така мережа СТС повинна бути дуже надійною, тобто мати високе якісне резервування. Для виконання цих вимог на цифровій мережі Укртелекома планується встановити три первинні еталонні генератори (ПЕГ). Кожен ПЕГ має резервоване обладнання при формуванні синхросигналів, і містить два цезієвих стандарти частоти, а як третє джерело стабільної частоти використовує приймач сигналів глобальної навігаційної

системи ГЛОНАСС або GPS. ПЕГ повинні взаєморезервувати один одного, тобто кожний з них може синхронізувати сусідній регіон, що у звичайних умовах синхронізується іншим ПЕГ. Мережі СТС інших операторів зв'язку можуть одержувати синхронізацію від мережі СТС

Укртелекома в будь-якій точці, до якої вони в змозі підключитися.

Допускається робота з мережею СТС Укртелекома не тільки в синхронному режимі, коли синхронізація надходить від мережі Укртелекома, але й у псевдосинхронному режимі. Для забезпечення надійного псевдосинхронного режиму відповідний оператор зв'язку повинен мати свій ПЕГ.

Оператори зв'язку, що працюють з мережею Укртелекому в синхронному режимі і не мають свого власного ПЕГ, повинні використовувати для синхронізації своєї мережі вторинні задаючі генератори (ВЗГ). ВЗГ повинні одержувати синхронізацію по можливості з двох точок мережі СТС Укртелекому, і при їхній втраті переходити в режим утримання частоти (Holdover). Допускається як резервні сигнали синхронізації для ВЗГ використовувати приймачі сигналів ГЛОНАСС і GPS. Така комплектація ВЗГ (SSU, SASE) широко поширена в різних фірм таких як: Осцилокварц, Хюлет-Пакерд, Телеком Солюшенс і Сіменс.

Для передачі синхросигналоів між комутаційними станціями широко використовують інформаційні потоки 2048 кбіт/с, передані по СП плезиохронної цифрової ієрархії (PDH). У СП SDH інформаційні потоки 2048 кбіт/с практично не несуть у собі синхросигналів. Синхросигнали в СП SDH передаються в потоках STM-N, з яких на виході одержують синхросигнали 2048 кГц або 2048 кбіт/с. Для того, щоб передати сигнал синхронізації в інформаційному потоці по СП SDH, необхідно виконати функцію відновлення синхронізації (Retiming). Практично у всіх нових СП SDH ця функція виконується для будь-яких 2-х вихідних інформаційних потоків 2048 кбіт/с. Функцію Retiming виконують і спеціальні пристрої, наприклад, виготовлені фірмами Сіменс або Хронос. Синхросигнали 2048 кбіт/з можуть нести у своєму складі дані про якість синхросигналів відповідно до Рекомендації МСЕ-Т G.704. Дані про якість синхронізації передаються також по STM-N практично у всіх СП SDH.

Впровадження СТС відбувається практично в два етапи. На першому етапі розробляється й узгоджується схема побудови мережі СТС, а на другому перевіряється її практична реалізація. При проведенні робіт з перевірки якості

синхронізації в Росії використовувався прилад ИВО-1, розроблений на державному підприємстві «Дальсвязь» у м. С.-Петербурзі за участю ЦНИИС.

В процесі перевірки якості синхронізації (аудиту) було виявлено, що на багатьох ділянках цифрової мережі синхронізація не надходить, або вона має дуже погану якість, тому що ДВИ перевищує припустимі межі. Причинами порушення синхронізації були не встановлені необхідні перемички в апаратурі СП SDH або на якихось виходах була встановлена якість, що забороняє прийом синхросигналів (Don't Use). Зустрічалися і нестабільно працюючі генератори мережевих елементів (SEC) в мультиплексорах СП SDH.

Треба мати на увазі, що на стику 2-х СП SDH різних виробників звичайно встановлений сигнал «Don't Use» або можуть зустрічатися різні дані про «якість синхронізації».

Досвід роботи операторів зв'язку [3, 5] при введенні нових систем SDH і PDH показав, що жодна з вітчизняних або закордонних фірм, що проектує і здійснюють введення в дію цифрової системи передачі, не займається СТС і її прив'язкою до існуючих мереж передачі. Жодна з закордонних фірм не хоче відповідати або стикуватися з обладнанням інших фірм, що вже працюють на діючих магістралях. Тому питаннями СТС можуть, зобов'язані і повинні займатися національні центри керування магістрального зв'язку. У Росії такою організацією є Головний центр керування магістрального зв'язку (ГЦУ МС) ВАТ «Ростелеком», а в Україні – ВАТ «Укртелеком».

В Україні встановлюються наступні дані по якості синхронізації (Q=1 – це сигнал від ПЭГ – G.811; Q=3 – ВЗГ – G.812; Q=5 – SEC – G.813 і Q=6 - Don't Use).

Прилад ИВО-1М котрий використовується на мережі, дозволяє не тільки проводити аудит, шляхом вимірювання якості синхронізації, але і подавати зашумлені сигнали, за допомогою яких можна перевіряти стійкість апаратури синхронізації, такої як SSU і SEC. У той же час ні в яких відомих нам приладах цього класу, крім ИВО-1М, ця функція не реалізується і для її виконання використовують додаткову апаратуру [8].

Технічні характеристики приладу ИВО-1М наступні:

1. Відносна нестабільність:

Прилад має вбудований рубідієвий стандарт частоти, відносна похибка частоти якого не більш $7,5 \times 10^{-11}$ без врахування температурних змін. При використанні частотного калібратора, після

перших 2 годин роботи відносна нестабільність рубідієвого стандарту буде не більш $\pm 2 \times 10^{-11}$ і не більше $\pm 2 \times 10^{-12}$ при 6 годинник роботи. Після 6 годин роботи за весь час вимірювання (незалежно від тривалості часу вимірювань) при всіх дестабілізуючих факторах, довгострокова відносна нестабільність не перевищить величину $\pm 1 \times 10^{-12}$. Такі величини нестабільності дозволяють проводити будь-які вимірювання, аж до визначення характеристик первинних еталонних генераторів (PRC).

2. Вихідні сигнали приладу:

2048 кГц (Рек. МСЭ-Т G.703 п. 10) при опорі навантаження 75 і 120 Ом;

2048 кбіт/с (Рек. МСЭ-Т G.703 п. 6) при опорі навантаження 120 Ом; Інформаційний зміст: ПСП ($2^{15}-1$), або логічний «0», або логічна «1» (СИАС, AIS), або чергування логічних «0» і «1», модуляції еталонного сигналу частотою, регульованої від 1 Гц до 1×10^{-7} Гц, і амплітудою модуляції, регульованої від 10 нс до 2500 нс. Прилад дозволяє одночасно встановлювати і відхилення по частоті і модуляцію. Забезпечує можливість зміни відносного відхилення тактової частоти еталонного сигналу в діапазоні від $\pm 1 \times 10^{-12}$ до $\pm 1 \times 10^{-6}$ відн. од. з кроком 1×10^{-13} .

3. Вхідні сигнали приладу:

Вимірювання синхросигналу 2048 кГц або 2048 кбіт/с з вхідним опором 75 Ом, 120 Ом, або більше 3 кОм.

4. Час вибірки від $1,25 \times 10^{-6}$ с до 10 с.

5. Вимірювальні фільтри 0,1 і 10 Гц.

6. Зовнішня синхронізація від 5 або 10 МГц при напрузі (0,5 – 1,5)В на навантаженні 50 Ом

Висновки по розділу:

З аналізу побудови закордонних мереж і публікацій [3, 5, 6, 7, 9, 10, 13] можна зробити наступні висновки:

- при побудові СТС в основному застосовується примусова чотирьох рівнева ієрархія побудови;
- як правило виконують поділ національної мережі на незалежні регіональні ділянки, кожна з яких містить свій PRC;
- передбачається тісна взаємодія з міжнародними службами точного часу;

- як правило використовується розвинена мережа каналів розподілу сигналів синхронізації і сучасна система управління, обслуговування і резервування на основі TMN (Рек. МСЕ-Т М.3010).

11.4.3 Елементи мережі тактової синхронізації

11.4.3.1 Технічні вимоги до первинних пристроїв синхронізації (PRC)

Узагальнена структура PRC, яку зображено на рисунку 11.4, містить ансамбль з кількох (звичайно трьох) високостабільних генераторів, виходи яких підключено до SSU. Функціональне призначення SSU полягає в тому, щоб фільтрувати короточасну нестабільність, притаманну високостабільним генераторам таким чином, щоб вона не виходила з нормованих меж PRC. Це означає, що на виході SU повинен бути сигнал якості PRC. Наприклад, PRC не повинен реагувати на короточасні перерви радіонавігаційного сигналу, а з іншого боку, аварійна сигналізація SSU повинна спрацьовувати на пропаданні вхідного сигналу будь-якої тривалості.

Відповідно Рекомендації ITU-T G.811 для PRC нормування стосується 4 характеристик: точність частоти, внутрішні (притаманні) шуми – джиттер та блукання (wander) фази, допустимий розрив фази, тощо.

Точність частоти. За будь-яких умов експлуатації максимально допустиме зрушення відносної частоти для часу спостереження більш, ніж один тиждень становить $1 \cdot 10^{-11}$.

Притаманні фазові шуми на виході первинного пристрою синхронізації є характеристикою його стабільності.

Блукання фази за показниками нестабільності MTIE та TDEV обчислюють за результатами вимірювання відхилення часового інтервалу TIE за умови, що вимірюваний сигнал пропущено через фільтр, еквівалентний фільтру нижніх частот другого порядку із смугою пропускання 10 Гц та максимальним інтервалом дискретизації $\tau_0 = 1/30$ с. Мінімальний період вимірювання T для TDEV повинен становити $T = 12\tau$, де τ – інтервал спостереження. З практичних міркувань для вимірювань на великих інтервалах спостереження можливо застосувати інші інтервали дискретизації та смугу пропускання.

Блукання фази, які позначено показниками MTIE та TDEV не повинні перевищувати граничних значень, приведених в Таблицях 11.1 та 11.2, відповідно.

Таблиця 11.1

MTIE [мкс]	Інтервал спостереження τ [с]
------------	-----------------------------------

$0,275 \cdot 10^{-3} \tau + 0,025$	$0,1 < \tau \leq 1000$
$10^{-5} \tau + 0,29$	$\tau > 1000$

Таблиця 11.2

TDEV [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
3	$0,1 < \tau \leq 100$
$0,03 \tau$	$100 < \tau \leq 1000$
30	$1000 < \tau < 10\,000$

Притаманний джитер, виміряний протягом 60 с на вихідному стику 2 048 кбіт/с або 2 048 кГц через вимірювальний смуговий фільтр із граничними частотами 20 Гц та 100 кГц, не повинен перевищувати 0,05 тактового інтервалу.

Допустимий розрив фази

Будь-який розрив фази на вихідному стику 2 048 кбіт/с або 2 048 кГц PRC, що є наслідком дій всередині пристрою синхронізації, не повинен перевищувати 1/8 тактового інтервалу.

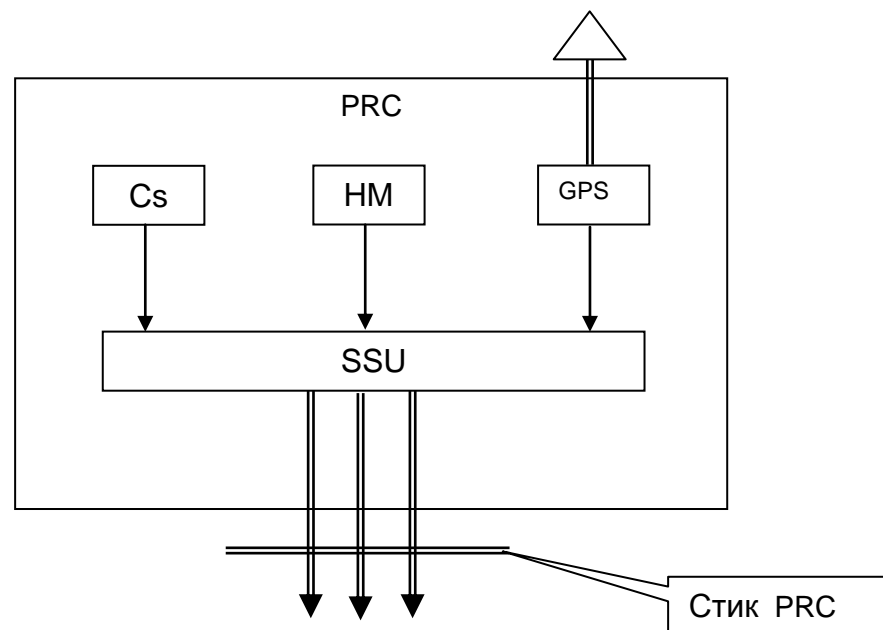


Рисунок 11.4 – Узагальнена структура PRC

11.4.3.2 Технічні вимоги до відокремлених ведених пристроїв синхронізації (SASE, SSU)

В Рекомендації ITU-T G.812 (06/98) визначено три типи пристроїв синхронізації для перспективних та три типи – для наявних мереж. *Tun I* – призначений для використання на всіх рівнях синхронізації в мережах, що оптимізовані для ієрархії 2 048 кбіт/с. *Tun II*, *Tun III* та *Tun IV* призначений для використання в мережах, що оптимізовані для ієрархії 1 544 кбіт/с й тому тут не розглядаються. *Tun V* та *Tun VI* використовують, відповідно, в транзитних та місцевих вузлах наявних мереж, що оптимізовані для ієрархії 2 048 кбіт/с та 1 544 кбіт/с. Їх нормативні характеристики перенесено з Рекомендації CCITT G.812 (1988). Ці пристрої можна використовувати для синхронізації мереж SDH на основі ієрархії 2048 кбіт/с за умови, що вони, принаймні, задовольнятимуть вимогам до притаманних шумів та короткочасної нестабільності, які пред'являють до пристроїв *Tuny I*.

За визначенням виокремлене обладнання синхронізації SASE – це виокремлена реалізація логічної функції SSU, яка містить функцію управління (можливо, дистанційного управління), та має забезпечити:

- приймання опорних сигналів синхронізації по кількох входах (не менше двох);
- вибір найкращого за визначеним критерієм опорного сигналу;
- придушення джитеру та блукань, притаманних обраному опорному сигналу;
- обчислювання середнього значення частоти вихідного сигналу протягом визначеного періоду, за умови відповідності опорного сигналу критерію якості,
- розподіл вихідного сигналу синхронізації між станційним обладнанням.

Структура SASE, як показано на рисунку 11.5, містить робочу та резервну системи відстеження опорного сигналу ФАПЧ, що забезпечують придушення вхідних шумів, та працюють в режимі “гарячого” резерву, пам'ять для утримання частоти (в режимі *holdover*), селектор вхідних опорних сигналів, вхідні та вихідні стики синхронізації, тощо. Має бути передбаченою можливість примусового переведення SASE до режиму вільних коливань.

SSU має бути обладнано такими стиками синхронізації:

T1 – стик вхідного сигналу синхронізації, який вилучено зі входу STM-N,

T2 – стик вхідного сигналу синхронізації, який вилучено зі входу 2 048 кбіт/с

T3 – стик вхідного сигналу синхронізації, який вилучено зі входу 2 048 кГц

T4 – зовнішній вихід синхронізації

T0 – внутрішній стик вихідного сигналу синхронізації елементу мережі

Примітка. Вихід T0 притаманний тільки для невідокремленого SSU, якщо він є складовою частиною елементу мережі (станції комутації, крос-комутатору, або обладнання SDH).

Відповідно Рекомендації ITU-T G.812 (Type I) для SSU-A та відповідно стандарту ETSI EN 300462-7-1 для SSU-B нормування стосується таких 7 характеристик:

- 1) смуга захоплення опорного сигналу (окремо для SSU-A та SSU-B),
- 2) допустимий рівень джитеру та блукань фази на вході синхронізації,
- 3) притаманні фазові шуми в веденому режимі,
- 4) придушення фазових шумів опорного сигналу (окремо для SSU-A та SSU-B),
- 5) короточасні перехідні процеси (реакція пристрою на переключення опорного сигналу),
- 6) довготривалі перехідні процеси, тобто поведінка пристрою після пропадання опорного сигналу в режимі утримання частоти (окремо для SSU-A та SSU-B),
- 7) допустимий розрив фази, тощо.

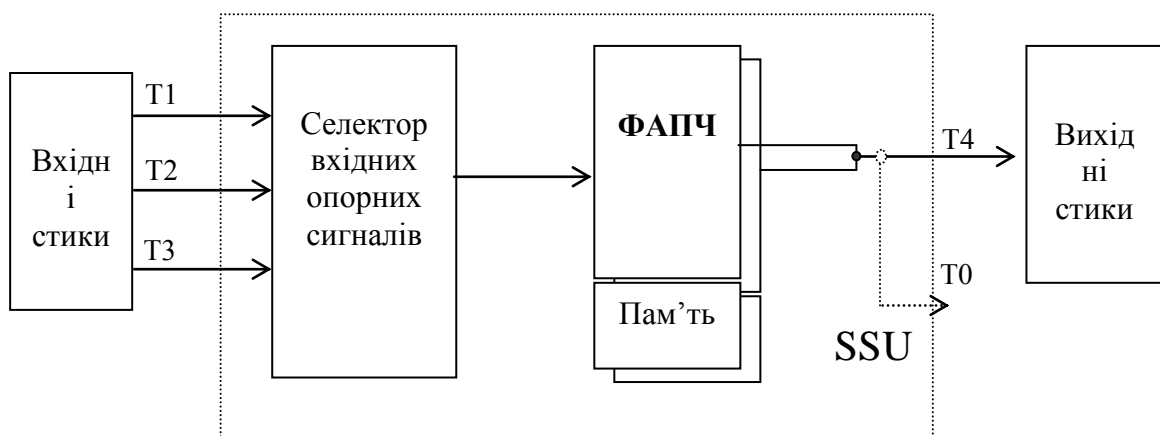


Рисунок 11.5 – Структура SASE

Мінімальне значення смуги захоплення має бути:

- для **SSU-A**: $\pm 1,0 \times 10^{-8}$;
- для **SSU-B**: $\pm 0,5 \times 10^{-6}$.

Допустимий рівень джитеру та блукань на вході синхронізації визначають як нижню границю максимального рівня похибки фази на вході синхронізації, який ще не спричиняє аварійних ситуацій, а саме:

- експлуатаційні характеристики пристрою залишаються в нормованих границях;
- не включається аварійна сигналізація;
- пристрій не переключається на резервний опорний сигнал;
- пристрій не переходить в режим утримання частоти.

В Таблицях 11.3 та 11.4 наведено значення допустимих блукань фази на вході SSU за показником MTIE та TDEV, відповідно.

Таблиця 11.3

Граничне значення MTIE [мкс]	Інтервал спостереження τ [с]
0,75	$0,1 < \tau \leq 7,5$
$0,1 \tau$	$7,5 < \tau \leq 20$
2	$20 < \tau \leq 400$
$0,005 \tau$	$400 < \tau \leq 1000$
5	$1000 < \tau \leq 10000$

Таблиця 11.4

Граничне значення TDEV [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
34	$0,1 < \tau \leq 20$
$1,7 \tau$	$20 < \tau \leq 100$
170	$100 < \tau \leq 1000$
$5,4 \tau^{0,5}$	$1000 < \tau \leq 10000$

Умови вимірювань на відповідність Таблицям 11.3 та 11.4 потребують формування спеціального тест-сигналу для того, щоб задовольнити вимогам

відтворюваності результатів, тому допустимо використовувати простіші тест-сигнали з гармонічними флуктуаціями.

В Таблицях 11.5 та 11.6 приведено нижню границю найбільших допустимих гармонічних блукань та джитеру, відповідно.

Таблиця 11.5

Розмах блукань [мкс]	Частота f блукань [Гц]
5	$0,000012 < f \leq 0,00032$
$0,0016 f^1$	$0,00032 < f \leq 0,0008$
2	$0,0008 < f \leq 0,016$
$0,032 f^1$	$0,016 < \tau \leq 0,043$
0,75	$0,043 < \tau \leq 1$

Таблиця 11.6

Розмах джитеру [нс]	Частота f джитеру [Гц]
750	$1 < f \leq 2400$
$1,8 \times 10^6 f^1$	$2400 < f \leq 18000$
100	$18000 < f \leq 100000$

Вимоги щодо допустимого рівня джитеру та блукань на вході синхронізації є однаковими для SSU-A та SSU-B.

Під власними фазовими шумами на виході веденого пристрою синхронізації розуміють рівень похибок фази на його виході за умови, що на вході є ідеальний опорний сигнал. В практичних вимірюваннях опорний сигнал вважають “ідеальним”, якщо він щонайменш в 10 разів стабільніше, ніж вихідний сигнал, який задовольняє даним вимогам. Спроможність пристрою обмежувати притаманні шуми оцінюють стабільністю частоти його вихідного сигналу за показниками MTIE та TDEV. Їх вимірюють з періодом дискретизації $\tau_0 = 1/30$ с та мінімальним інтервалом усереднення $T = 12 \tau_0$ на виході фільтру, еквівалентного ФНЧ першого порядку з граничною частотою 10 Гц.

Блукання фази, які позначено показниками MTIE та TDEV при постійній температурі не повинні перевищувати граничних значень, наданих в таблицях 11.7 та 11.8, відповідно.

Таблиця 11.7

Границя MTIE [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
24	$0,1 < \tau \leq 9$
$8 \tau^{0,5}$	$9 < \tau \leq 400$
160	$400 < \tau \leq 10000$

Таблиця 11.8

Границя TDEV [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
3	$0,1 < \tau \leq 25$
$0,12 \tau$	$25 < \tau \leq 100$
12	$100 < \tau < 10\ 000$

Розмах притаманного джитеру, виміряного протягом 60 с на вихідному стикі 2 048 кбіт/с або 2 048 кГц через вимірювальний смуговий фільтр із граничними частотами 20 Гц та 100 кГц, не повинен перевищувати 0,05 тактового інтервалу.

Вимоги щодо притаманних фазових шумів однакові для SSU-A та SSU-B.

Придушення фазових шумів оцінюють передаточною функцією (Noise Transfer) веденого пристрою синхронізації, тобто відношенням рівня шумів у вихідному сигналі синхронізації до рівня шумів у вхідному опорному сигналі. Придушення фазових шумів можна описати у два способи.

Ведений пристрій синхронізації можна розглядати, як «фільтр ФАПЧ» (ФНЧ), який вирізняє фазу *ідеального* опорного колювання із фази *реального* вхідного сигналу. Тоді нормована максимально допустима ширина смуги частот дорівнює величині, яку надано для SSU-A та SSU-B в Таблиці 11.9.

Таблиця 11.9

	SSU-A	SSU-B
Максимально допустима ширина смуги частот (мГц)	3	20
Максимальное підсилення (дБ)	0,2	0,2

Придушення фазових шумів оцінюють величиною похибки фази вихідного сигналу, що є наслідком похибки фази у вхідному сигналі. Для того, щоб досягти відтворення результатів вимірювань, TDEV оцінюють за допомогою спеціального вхідного тест-сигналу – білого гаусівського шуму, відфільтрованого у смузі частот 0-10 Гц . Керівний матеріал з цього приводу міститься в Додатку II/G.812. MTIE та TDEV вимірюють з періодом дискретизації $\tau_0 = 1/30$ с та мінімальним інтервалом усереднення $T = 12\tau_0$ на виході фільтру, еквівалентного ФНЧ першого порядку з граничною частотою 10 Гц. За умови, що ведений пристрій синхронізації підлягає дії сигналу із широкосмуговим шумом на вході, тобто за умови, що рівень джитеру та блукань на вході синхронізації є допустимим за показником TDEV (див. Табл. 11.4), похибка фази на його виході має бути менша за граничні значення, які надано в Таблиці 11.10.

Таблиця 11.10

Граничне значення TDEV [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
3	$0,1 < \tau \leq 13,1$
$0,0176 \tau$	$13,1 < \tau \leq 100$
176	$100 < \tau \leq 1000$
$5,58 \tau^{0,5}$	$1000 < \tau \leq 10000$

Вимоги щодо придушення фазових шумів за даними Таблиці 3.10 є однаковими для SSU-A та SSU-B.

Вимоги до короткочасних перехідних процесів при переключенні опорного сигналу (*Short-term Phase Transient Response*) відзеркалюють характеристики пристрою синхронізації за умов, коли активний вхідний опорний сигнал пропадає через аварію в каналі синхронізації, після чого пристрій одразу ж, або через короткий час підключається до другого опорного сигналу, що підведено до нього (тобто тоді, коли відбувається автономне відновлення режиму стеження). Протягом цих процесів джитер вихідного сигналу повинен залишатись в задани межах. Перехідні процеси при переключенні опорного сигналу для **SSU-A** не повинні перевищувати границь, які приведені в Таблиці 11.11.

Таблиця 11.11

Границя МПІЕ [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
25	$0,001 < \tau \leq 0,0033$
$7\,500\ \tau$	$0,0033 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5\ \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 1\,000$

Для **SSU-B** відхилення фази не повинно перевищувати 240 нс протягом періоду T_y між моментом пропадання активного опорного сигналу та моментом захоплення резервного опорного сигналу. На періоді T_y допустимими є два проскакування фази, кожен з яких має не перевищувати 60 нс із тимчасовим зрушенням частоти не більш ніж $7,5 \cdot 10^{-6}$. За межами T_y зрушення частоти має бути не більш ніж $1 \cdot 10^{-9}$.

Довготривалі перехідні процеси мають місце, коли ведений пристрій синхронізації втрачає всі опорні сигнали, та переходить в режим утримання частоти (*Holdover*). При цьому переході максимальні похибки фази вихідного сигналу синхронізації не повинні перевищувати встановлених тут границь. Ці границі введені для того, щоб обмежити накопичення виходу фази під час пропадання вхідного сигналу. Похибка фази Δx на виході веденого пристрою синхронізації від моменту втрати опорного сигналу на будь-якому періоді S с повинна задовольняти нерівності:

$$|\Delta x| \leq a_1 + a_2 \bar{S} + 0,5bS^2 + c \quad \text{нс.}$$

- a_1 – описує початкове зрушення частоти за умов постійної температури (± 1 К);
- a_2 – описує температурні зміни після того, як пристрій перейшов в режим утримання частоти;
- b – описує усереднений дрейф частоти, пов'язаний з деградацією – цю величину отримано за типовими характеристиками деградації після 60 діб безперервної роботи: немає потреби вимірювати цю величину на інтервалі протягом доби, тому що в цьому випадку переважає вплив температури;
- c – це значення зрушення фази має відношення до будь-якого додаткового зрушення фази, що може виникнути у момент переходу в режим утримання частоти.

Таблиця 11.12

	SSU-A	SSU-B
a_1 [нс/с]	0,5	1,0
a_2 [нс/с]	2	10
b [нс/с ²]	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-5}$
[нс]	60	60

Характеристики утримання частоти для SSU показано на рис. 11.6
Вимоги до величини допустимого розриву фази стосуються характеристики пристрою синхронізації за виняткових умов випробувань, або перемикань всередині веденого пристрою синхронізації проскакування фази не повинно перевищувати меж МТІЕ, які наведено в Таблиці 11.13.

Таблиця 11.13

Границя МТІЕ [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
60	$\tau \leq 0,001$
120	$0,001 < \tau \leq 4$
240	$\tau > 4$

Вимоги щодо величини допустимого розриву фази є однаковими для SSU-A та SSU-B.

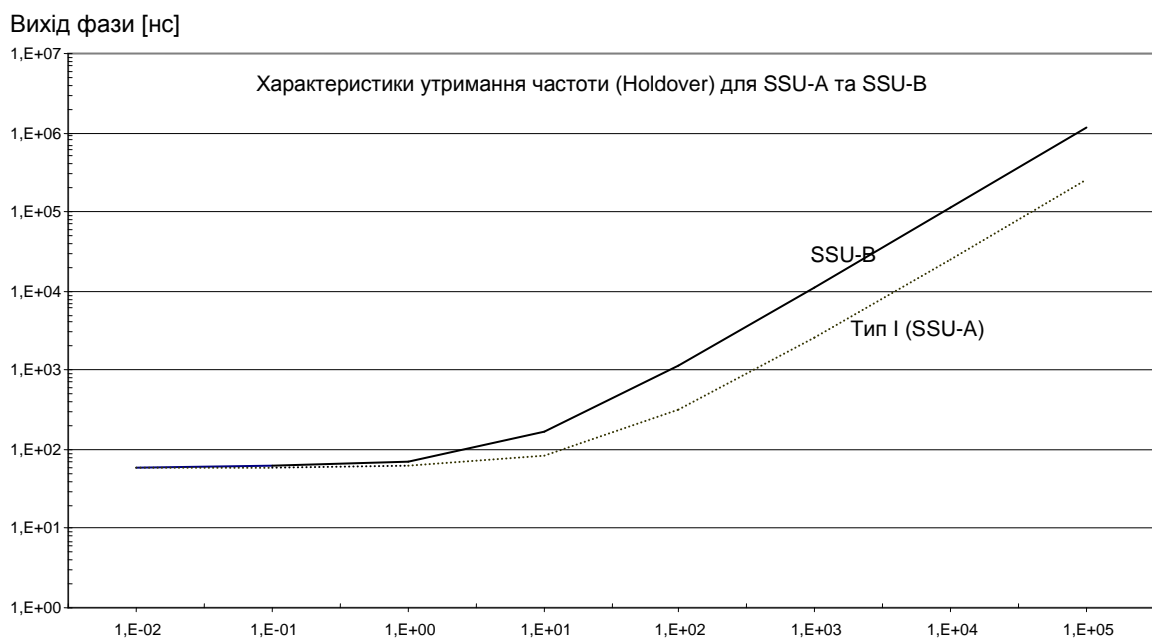


Рисунок 11.6 – Характеристики утримання частоти для SSU

11.4.3.3 Технічні вимоги до вбудованих ведених пристроїв синхронізації (SEC)

Для використання в мережах, що оптимізовані для ієрархії 2 048 кбіт/с, згідно Рекомендації ITU-T G.813 (Option 1) визначено пристрій синхронізації SEC (Synchronous Equipment Clock), що є частиною обладнання джерела синхронізації синхронного обладнання SETS (Synchronous Equipment Timing Source).

SEC містить функцію автоматичного реконфігурування (за протоколом SSM), та має відповідати таким технічним вимогам:

- точність частоти в режимі її утримання має бути досить високою за прийнятною вартістю;
- притаманні фазові шуми мають бути досить низькими для того, щоб у послідовній низці з багатьох SEC запобігти накопичення фазових викривлень;
- смуга частот фільтру ФАПЧ має бути оптимізованою для придушення джитеру, притаманного обраному опорному сигналу.

Структуру SETS, яка містить SEC, селектори вхідних та вихідних опорних сигналів, вхідні та вихідні стики синхронізації, показано на рис. 11.7

SEC має бути обладнано такими стиками синхронізації:

- T1 – сигнал синхронізації, який вилучено зі входу STM-N
- T2 – сигнал синхронізації, який вилучено зі входу 2 048 кбіт/с
- T3 – сигнал синхронізації, який вилучено зі входу 2 048 кГц
- T4 – зовнішній вихід синхронізації
- T0 – внутрішній сигнал синхронізації елемента мережі

Для SEC визначено граничні значення 8 характеристик:

- 1) точність частоти;
- 2) смуга захоплення опорного сигналу;
- 3) допустимий рівень джитеру та блукань фази на вході пристрою синхронізації;
- 4) притаманні фазові шуми у веденому режимі;
- 5) придушення фазових шумів опорного сигналу;
- 6) короткочасні перехідні процеси (реакція пристрою на переключення опорного сигналу);
- 7) довготривалі перехідні процеси, тобто поведінка пристрою після

пропадання опорного сигналу в режимі утримання частоти;

8) допустимий розрив фази, тощо.

В режимі вільних коливань точність частоти на виході SEC має бути не гірше, ніж $4,6 \times 10^{-6}$ відносно опорного сигналу, який є результатом відстеження PRC.

Мінімальне значення смуги захоплення має бути $4,6 \times 10^{-6}$, тобто такою, що містить будь-яку частоту, що є допустимою для внутрішнього генератора.

Значення допустимих блукань фази на вході SEC за показником МТІЕ та TDEV, надано, відповідно в Таблицях 11.14 та 11.15

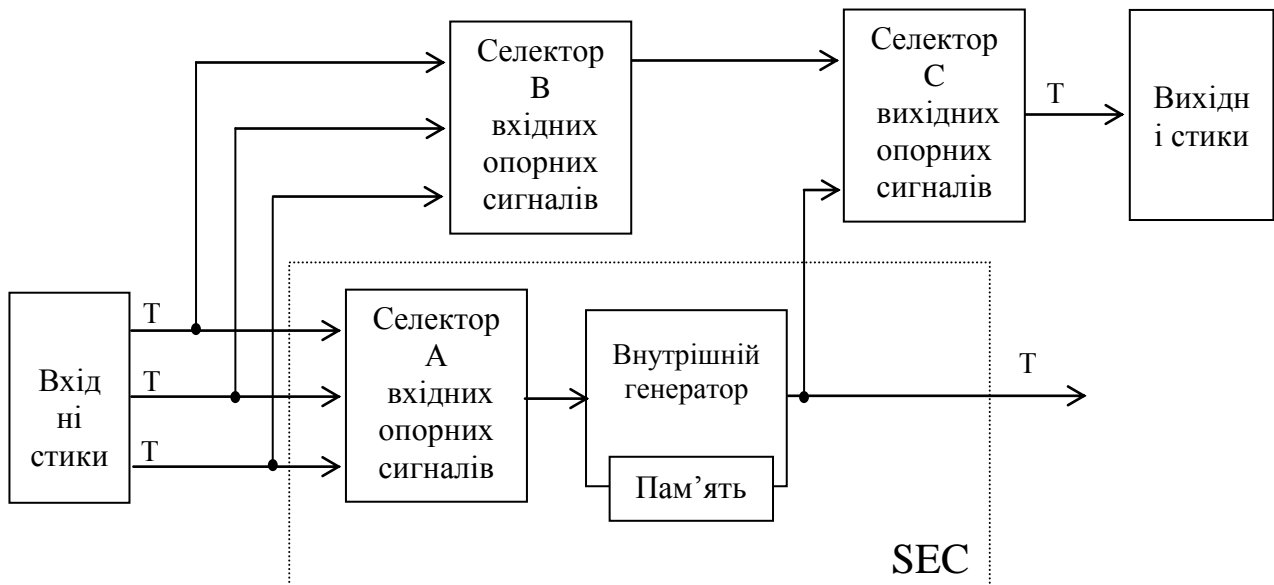


Рисунок 11.7 – Структура SETS, яка містить SEC

Таблиця 11.14

Граничне значення МТІЕ [мкс]	Інтервал спостереження τ [с]
0,25	$0,1 < \tau \leq 2,5$
$0,1 \tau$	$2,5 < \tau \leq 20$
2	$20 < \tau \leq 400$
$0,005 \tau$	$400 < \tau \leq 1000$

Таблиця 11.15

Граничне значення TDEV	Інтервал спостереження τ [с]

[нс]	
12	$0,1 < \tau \leq 7$
$1,7 \tau$	$7 < \tau \leq 100$
170	$100 < \tau \leq 1000$

Умови вимірювань на відповідність Таблицям 11.14 та 11.15 потребують формування спеціального тест-сигналу для того, щоб задовольнити вимогам відтворюваності результатів, тому є допустимим використовувати простіші тест-сигнали з гармонічними флуктуаціями.

В Таблиці 11.16 надано нижню границю найбільших допустимих гармонічних блукань.

Таблиця 11.16

Розмах блукань [мкс]	Частота f блукань [Гц]
Нахил -20 дБ/декаду	$0,00032 < f \leq 0,0008$
2	$0,0008 < f \leq 0,016$
Нахил -20 дБ/декаду	$0,016 < \tau \leq 0,13$
0,25	$0,13 < \tau \leq 10$

В Таблиці 11.17 надано нижню границю найбільш допустимого джитеру у вхідних опорних сигналах 2 048 кГц та 2 048 кбіт/с.

Таблиця 11.17

Розмах джитеру [нс]	Частота f джитеру [Гц]
250	$1 < f \leq 19$
$250 \times (19/f)^{3,4}$	$19 < f \leq 49$
100	$49 < f \leq 100000$

Притаманні фазові шуми оцінюють стабільністю частоти його вихідного сигналу за показниками МТІЕ та TDEV. Їх вимірюють з періодом дискретизації $\tau_0 = 1/30$ с та мінімальним інтервалом усереднення $T = 12 \tau_0$ на виході фільтру, еквівалентного ФНЧ першого порядку з граничною частотою 10 Гц. Блукання фази, які позначено показниками МТІЕ та TDEV при постійній температурі не повинні перевищувати граничних значень, наданих в Таблицях 11.18 та 11.19, відповідно.

Таблиця 11.18

Границя МТІЕ [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
40	$0,1 < \tau \leq 9$

$40 \tau^{0,1}$	$9 < \tau \leq 400$
$25,25 \tau^{0,1}$	$400 < \tau \leq 10000$

Таблиця 11.19

Границя TDEV [нс]	Інтервал спостереження τ [с]
3,2	$0,1 < \tau \leq 25$
$0,64 \tau^{0,05}$	$25 < \tau \leq 100$
6,4	$100 < \tau < 1000$

Розмах притаманного джитеру, вимірюваного протягом 60 с на вихідному стику 2 048 кГц через вимірювальний смуговий фільтр із граничними частотами 20 Гц та 100 кГц, не повинен перевищувати 0,05 тактового інтервалу.

Придушення фазових шумів можна описати спроможністю веденого пристрою синхронізації вирізняти фазу ідеального опорного коливання із фази *реального* вхідного сигналу. Спроможність цю характеризують мінімальним та максимальним допустимими значеннями ширини смуги частот ФНЧ (фільтру ФАПЧ), які дорівнюють 1 Гц та 10 Гц, відповідно.

Вимоги до короткочасних перехідних процесів при переключенні опорного сигналу (*Short-term Phase Transient Response*) віддзеркалюють характеристики пристрою синхронізації за умов, коли активний вхідний опорний сигнал пропадає через аварію в каналі синхронізації, після чого пристрій одразу ж або через короткий час підключається до другого опорного сигналу, що підведено до нього (тобто тоді, коли відбувається автономне відновлення режиму стеження). В таких випадках опорний сигнал може бути втрачено не більш, ніж на 15 с. Викривлення фази на виході SEC відносно втраченого опорного сигналу має не перевищувати величини $\Delta t + 5 \times 10^{-8} S$ на будь-якому періоді $S \leq 15$ с, де Δt дорівнює сумі двох проскакувань фази, які мають місце протягом перемикування у режим утримання частоти та повернення з нього. Разом величина двох проскакувань має не перевищувати 120 нс, тимчасове зрушення частоти має бути не більшим ніж $7,5 \times 10^{-6}$. Після другого проскакування загальне зрушення фази має бути меншим, ніж 1 мкс, за умови, що обидва опорні сигнали є відстеженими від одного й того ж PRC. Якщо опорний сигнал втрачено більш, ніж на 15 с, то SEC має відповідати нижче приведеним вимогам.

Коли ведений пристрій синхронізації втрачає всі опорні сигнали, він переходить в режим утримання частоти (Holdover). При цьому переході максимальні похибки фази вихідного сигналу синхронізації не повинні перевищувати встановлених тут меж. Ці межі введені для того, щоб обмежити накопичення виходу фази під час пропаданя вхідного сигналу. Похибка фази Δx на виході веденого пристрою синхронізації від моменту втрати опорного сигналу повинна протягом будь-якого періоду S задовольняти нерівності:

$$|\Delta x| \leq a_1 + a_2 S + 0,5bS^2 + c \text{ нс.}$$

$a_1 = 50$ нс/с – описує початкове зрушення частоти за умов постійної температури (± 1 К);

$a_2 = 2000$ нс/с – описує температурні зміни після того, як пристрій перейшов у режим утримання частоти;

$b = 1,16 \times 10^{-5}$ нс/с² – описує усереднений дрейф частоти, пов'язаний з деградацією – цю величину отримано за типовими характеристиками деградації після 60 діб безперервної роботи: немає потреби вимірювати цю величину на інтервалі протягом доби, тому що в цьому випадку переважає вплив температури;

$c = 120$ нс – це значення зрушення фази має відношення до будь-якого додаткового зрушення фази, що може виникнути у момент переходу в режим утримання частоти.

Характеристику утримання частоти для SEC наведено на рис. 11.8.

Під час коротких переривань активного вхідного опорного сигналу, які не викликають перемикання на резервний опорний сигнал, допустимий розрив фази вихідного сигналу мають не перевищувати 120 нс при зрушенні відносної частоти не більш ніж $7,5 \times 10^{-6}$ на максимальному періоді 16 мс. За виняткових умов випробувань, або перемикань всередині SEC, але без перемикання на резервний SEC всередині обладнання SDH проскакування фази мають

Вихід фази

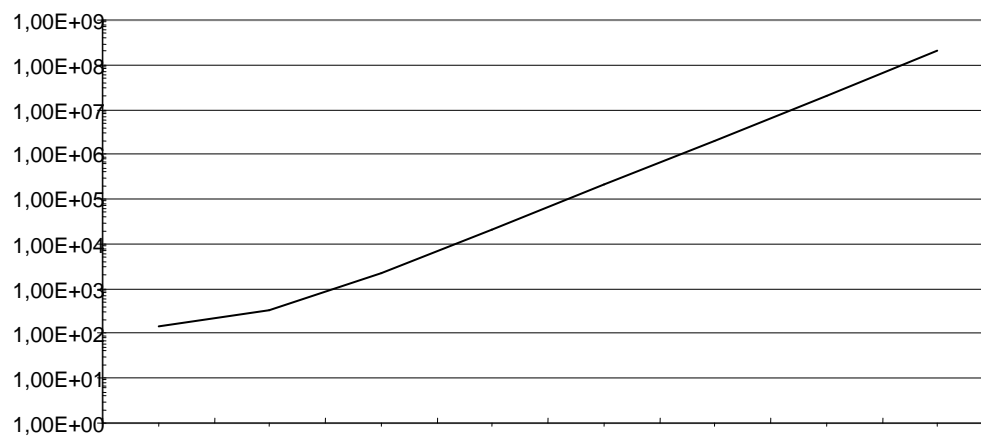


Рисунок 11.8 – Характеристика утримання частоти для SEC

відповідати таким вимогам:

- зрушення фази на будь-якому періоді S до 16 мс не повинні перевищувати $7,5S$,
- зрушення фази на будь-якому періоді S від 16 мс до 2,4 с не повинні перевищувати 120 нс,
- зрушення фази на періоді більше ніж 2,4 с не повинні перевищувати 120 нс для кожного інтервалу 2,4 с при зрушенні частоти не більше, ніж $7,5 \times 10^{-6}$ та при загальному викривленні фази не більше ніж 1 мкс.

11.4.3.4 Принципи використання навігаційних повідомлень

GPS/ГЛОНАСС для синхронізації мережі ВАТ “Укртелеком”

Згідно з Концепцією побудови та структурної схеми синхронізації України датчики часу та частоти на основі приймальних пристроїв GPS/ГЛОНАСС не тільки є функціональними еквівалентами квантових стандартів часу в техніці PRC, але є такими конкурентноспроможними пристроями, що їм треба віддавати перевагу за певних умов. Зокрема, пристрої синхронізації PRC провідних виробників завжди мають опцію GPS/ГЛОНАСС (див. розділ 11.4.4.2).

Дослідження апаратури, в якій використано приймачі GPS/ГЛОНАСС, підтверджують високу ефективність та надійність сигналів СРНС як джерел точного часу та частоти UTC, отже 85-е засідання Міжнародного Бюро Мер и Вагів рекомендувало використовувати її в національних центрах зберігання часу. Про необхідність використання UTC у міжнародній діяльності щодо електрозв'язку було вирішено на Всесвітній адміністративній конференції в галузі зв'язку 1979 року.

Багаторічні спостереження за системами GPS та ГЛОНАСС підтвердили можливість синхронізації мереж зв'язку з добовою стандартною девіацією 40-60 нс для GPS и 15-30 нс для ГЛОНАСС та зрушенням фази від номінального значення протягом довгого часу в границях 100 нс. Такі характеристики відповідають вимогам до PRC з великим технологічним запасом.

У посібнику з системного проектування мереж синхронізації ETSI EG 201 793 v1.1.1 (2000-10) квантові стандарти частоти та приймальні пристрої СРНС визначено як рівноправні технології для реалізації PRC. Дійсно, основою PRC

є PRS, тобто стандарт частоти та, якщо генератор на пучку цезію чи водневий мазер уявляти як «точковий» стандарт частоти, розміщений у конкретному пункті, то СРНС – це є первинний (в найширшому сенсі) «стандарт частоти», що його розподілено у просторі на поверхні Землі та навколо неї.

Довготривала відносна точність цього розподіленого стандарту є максимально досяжною за мінімальних витрат.

За сучасних умов “розподілений стандарт частоти” СРНС використовують з резервуванням у складі РРС застосуванням двохсистемного приймального пристрою аналогічно тому, як резервують “точкові стандарти частоти”, коли комплектують РРС двома або трьома генераторами на пучку цезію. Якщо зауважити, що “розподілений стандарт частоти” є доступнішим (зокрема, з міркувань вартості), то не використовувати його для поліпшення синхронізації первинної мережі ВАТ “Укртелеком” є більш ніж нерозумним. Зрештою, немає ніяких підстав стверджувати, що надійність квантового стандарту частоти є більшою ніж розподіленого стандарту частоти під назвою «СРНС». Саме так можна уявити погляд ІТУ и ETSI щодо використання СРНС для синхронізації мереж, яка виражена у відповідних міжнародних рекомендаціях та стандартах.

Але необхідно зауважити, що є технічна можливість дистанційного впливу на приймальні пристрої СРНС закордонного виробництва за допомогою використання спеціальних ключів у складі навігаційного альманаху, отже поширене використання в Україні приймачів закордонного виробництва, або використання тільки однієї СРНС може створити загрозу інформаційній безпеці країни.

З цього погляду є повчальним досвід Китаю і деяких інших країн, в яких для забезпечення національної безпеки використовуються щонайменше дві незалежні системи, як правило GPS і ГЛОНАСС. Такий підхід забезпечує незалежне використання двох рівноцінних джерел синхронізації і, крім того, можливість їх взаємного контролю.

За умов України необхідним та доцільним є використання вітчизняних приймачів GPS/ГЛОНАСС, з додатковим каналом приймання та обробки сигналів вітчизняного регіонального доповнення до СРНС, яке розробляється в рамках національної програми навігаційного забезпечення.

Слушно зауважити, що є технічна можливість погіршення власником СРНС якості її сигналу: так, до 2001 року цивільний сигнал GPS піддавали спеціальному погіршенню під назвою “селективна доступність”, тобто точність визначення часу та координат для невійськових споживачів була обмеженою “з міркувань національної безпеки США”. Іронія є в тому, що саме з цих міркувань уряд США, але вже з 2001 року відмінив “селективну доступність” цивільного сигналу GPS.

За станом на кінець 2002 року на первинній транспортній мережі та на МЦК ВАТ “Укртелеком” було встановлено 1 PRC (GPS+Cs) та 7 PRC (GPS+ОСХО), отже є об’єктивні причини застосування приймальних пристроїв СРНС – до того ж цей висновок поширюється на мережі інших операторів. Стан ринку пристроїв синхронізації типу «GPS+ОСХО» віддзеркалює тенденцію, відповідно якій закордонні оператори, додержуються Рекомендацій ІТУ та доводять довготривалу точність тактової частоти своїх цифрових мереж до точності частоти UTC. Оскільки первинна транспортна мережа ВАТ “Укртелеком” також додержується цієї тенденції, то вона фактично працює синхронно зі світовою мережею зв’язку, що у принципі дозволяє уникнути проблем з синхронізацією на міжнародних стиках.

11.4.4 Вимірювальне обладнання та пристрої синхронізації

11.4.4.1 Огляд вимірювального обладнання

Характеристики приладів, які спеціально призначені для вимірювання стиків та сигналів синхронізації, подано в Таблиці 11.20

Таблиця 11.20

№ пп	Прилад	PJG-2000, Італія	ИВО-1М, Росія	OSA-5565, Швейцарія
1	Вимірювані сигнали:			
1.1	Сигнал 2048 кГц (G.703/13)	+	+	+
1.2	Груповий сигнал 2048 кбіт/с (G.703/9)	+	+	+
1.3	Гармонічний сигнал	5 МГц	-	10 МГц
1.4	Груповий сигнал STM-1 (155 Мбіт/с)	+	-	-
2	Зовнішні опорні сигнали:			
2.1	Сигнал 2048 кГц (G.703/13)	+	+	+
2.2	Груповий сигнал 2048 кбіт/с (G.703/9), 75 Ом	+	+	+
2.3	Груповий сигнал 2048 кбіт/с (G.703/9), 120 Ом	-	+	-
2.4	Гармонічний сигнал	5 МГц	-	10 МГц
2.5	Сигнал зовнішнього приймача GPS	+	+	+
3	Характеристики вбудованого стандарту частоти:			
3.1	Стабільність у автономному режимі (за місяць)	$\pm 5 \cdot 10^{-11}$	$\pm 1 \cdot 10^{-11}$	$\pm 4 \cdot 10^{-11}$
3.2	Стабільність у режимі дисциплінування від датчика частоти та часу СРНС	$2 \cdot 10^{-11}$ за 48 години	$5 \cdot 10^{-12}$ за 24 години	$3 \cdot 10^{-12}$ за 24 години
3.3	Допустиме відхилення частоти вимірюваного сигналу	$\pm 1,5 \cdot 10^{-9}$	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$	$\pm 2,5 \cdot 10^{-9}$
3.4	Роздільна здатність вимірювання фази	10 пс	100 пс	100 пс
4	Вимірювані показники нестабільності:			
4.1	Відносна частота $\Delta f/f$	+	+	+
4.2	Похибка інтервалу часу (TIE, Time Interval Error)	+	+	+
4.3	Максимальна похибка інтервалу часу (MTIE)	+	+	+
4.4	Девіація часу (TDEV, Time Deviation)	+	+	+

5	Додаткові переваги:			
5.1	Одночасне генерування та аналіз 4 тестових групових сигналів 2048 кбіт/с з вимірюванням BER, ES, SES, та аналізом SSM (Synchronization Status Messages)	+	-	-
5.2	Одночасне генерування та аналіз тестового групового сигналу STM-1 (155 Мбіт/с)	+	-	-
5.3	Компенсації загасання (до 30 дБ) для моніторингу захищеного сигналу	+	-	-
5.4	Дистанційне управління та контроль	+	-	-
5.5	Імітація фазових викривлень у тестовому сигналі	-	+	-
5.6	Підвищена стійкість до магнітного поля Землі		+	-
6	Орієнтована вартість приладу (з ПДВ)	~\$54100	~\$35570	~\$ 42000

11.4.4.2 Огляд пристроїв синхронізації

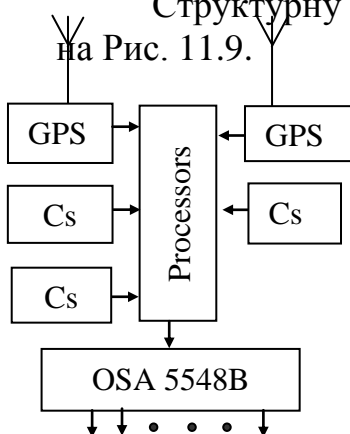
11.4.4.2.1 “Класичні” PRC

“Класичні” PRC - це складні комплекси, в яких об’єднано кілька стандартів частоти, систему резервування, блок розподілення опорних сигналів та спеціалізовані обчислювачі. На ринку PRC відомо щонайменш три пристрою такого типу:

- OSA 6500B компанії Oscilloquartz (Швейцарія);
- VCH-001 компанії “Время-Ч” (Россія)
- LPR-PRC-DCD-521 компанії Symmetricom (США)

Первинний пристрій синхронізації OSA 6500B

Структурну схему первинного пристрою синхронізації OSA 6500B надано на Рис. 11.9.



До складу базової конструкції OSA 6500B PRC входять три цезієвих стандарти частоти OSA 5585 PRS, два приймачі GPS, блок системного процесора та розподільувач сигналів синхронізації OSA 5548B.

Рис. 11.9

Технічні характеристики	
Точність частоти за час спостереження більше, ніж один тиждень	$\pm 5 \cdot 10^{-12}$
Вихідні стики синхронізації	2,048 МГц; 2,048 Мбіт/с; 5 МГц; 10 МГц,
Кількість вихідних стиків (у будь-якій комплектації)	112 (нерезервованих), або 64 (резервованих)
Стрибок фази при будь-яких внутрішніх переключеннях	< 15 нс
Система управління та моніторингу	SyncView
Гарантійний термін експлуатації цезієвого стандарту частоти	8 років
Орієнтовна вартість	\$ 430 000

Первинний пристрій синхронізації VCH-001

Структурну схему первинного пристрою синхронізації VCH-001 надано на Рис. 11.10.

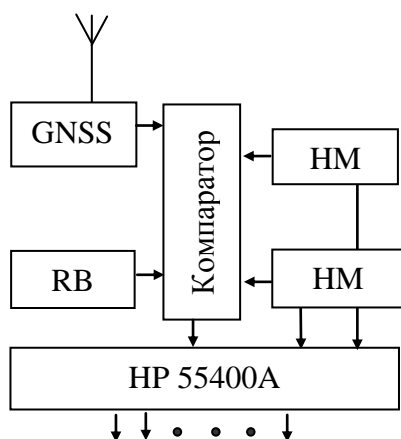


Рис. 11.10

До складу VCH-001 входять:

- стандарт частоти та часу водневий VCH-1004;
- рубідієвий опорний генератор VCH-209;
- GPS/ГЛОНАСС приймач-синхронізатор VCH-311;
- компаратор частотний VCH-310;
- ведений пристрій синхронізації HP 55400A.

Технічні характеристики	
Точність частоти за за весь термін служби пристрою	$< \pm 1 \cdot 10^{-11}$
Вихідні стики синхронізації	2,048 МГц; 2,048 Мбіт/с; 5 МГц; 10 МГц,
Кількість вхідних стиків (в будь-якій комплектації)	80 (резервованих)
Стрибок фази при будь-яких внутрішніх переключеннях	< 15 нс
Система управління та моніторингу	SmartView
Гарантійний термін експлуатації пристрою	18 місяців
Розрахунковий час безвідмовної роботи	< 20 років
Вартість заміни джерела атомарного водню	~ \$ 300
Орієнтовна вартість	\$ 130 000

Первинний пристрій синхронізації LPR-PRC- DCD-521

Структурну схему первинного пристрою синхронізації LPR-PRC-DCD-521 надано на Рис. 11.11.

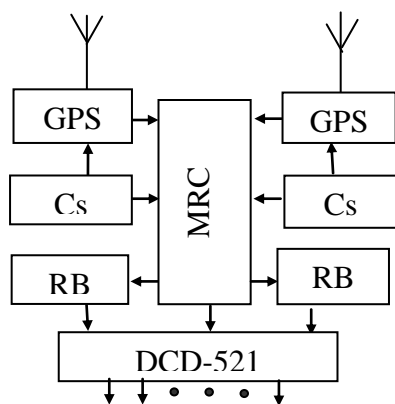


Рис.11.11.

До складу LPR-PRC-DCD-521 входять:

- два цезієвих стандарти частоти DCD-Cs;
- два приймачі GPS (DCD-LPR);
- один ведений пристрій синхронізації DCD-521.

Технічні характеристики	
Точність частоти за за весь термін служби пристрою	$< \pm 3 \cdot 10^{-12}$
Вихідні стики синхронізації	2,048 МГц; 2,048 Мбіт/с; 64 кбіт/с
Кількість вихідних стиків (у будь-якій комплектації)	300
Стрибок фази при будь-яких внутрішніх переключеннях	< 15 нс

Система управління та моніторингу	SmartView
Гарантійний термін експлуатації пристрою	Немає даних
Розрахунковий час безвідмовної роботи	Немає даних
Вартість заміни цезієвої трубки стандарту частоти	~ \$ 44 000
Орієнтовна вартість	\$ 250 000

11.4.4.2 Первинні джерела синхронізації (PRS) на основі квантових стандартів частоти

«Класичні» PRC – дуже дорогі пристрої, тому їх придбання є виправданим за умови, що для обслуговування всієї мережі досить одного такого пристрою. Але за сучасних уявлень щодо синхронізації мереж PRC має бути масовим виробом. Тому виробники квантових стандартів частоти, бажаючи зберегти позиції на ринку обладнання синхронізації, постачають *первинні джерела синхронізації* (PRS – Primary Reference Source). Це є просто стандарт частоти без резервування, який зазвичай обладнують стиками синхронізації. В Таблиці 11.21 надано технічні характеристики найвідоміших PRS на основі квантових стандартів частоти.

Таблиця 11.21

<i>PRS на основі квантових стандартів частоти</i>					
Тип	<i>PRS-45</i>	PRS-50	DCD-Cs	OSA-5585	VCH-004
Виробник	<i>Datum</i>	Datum	Symmetricalcom	Oscilloquartz	<i>“Время-Ч”</i>
Країна	США	<i>США</i>	США	Швейцарія	<i>Росія</i>

Технологія	CS	CS	CS	CS	HM
Точність частоти	$2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-12}$	$(3-5) \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-14}$
Стики синхронізації	2048 кГц 2048 кбіт/с 10 МГц	2,048 кбіт/с 1.5 МГц 10 МГц	2048 кГц 2048 кбіт/с 8 кГц 5 МГц 10 МГц	2048 кГц 2048 кбіт/с 64 кбіт/с 0,1 МГц 5 МГц 10 МГц	1 Гц 5 МГц
Стики управління	RS-232	RS-232		RS-232	
Гарантійний термін	12 років для цезієвої трубки, 2 роки для електроніки	12 років для цезієвої трубки, 2 роки для електроніки	3 років для цезієвої трубки	5-8 років для цезієвої трубки	18 місяців для всього пристрою
Орієнтовна ціна	\$90000	\$90000	\$71000	\$71000	\$36900
Вартість заміни цезієвої трубки або картриджу з атомарним воднем	50-70% від ціни за PRS				\$300

11.4.4.3 PRS на основі приймачів GPS/ГЛОНАСС

Характеристики PRS на основі приймачів GPS/ГЛОНАСС подано в

Таблиці 11.22.

Таблиця 11.22

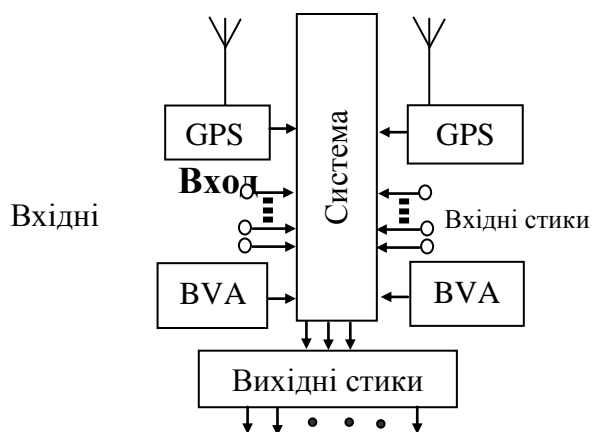
Тип	Виробник	Технологія	Тип антени	Довжина кабелю (з підсилювачем)	Стики G.703	Вартість	Сертифікат УкрСЕПРО, місце інсталяції в Україні
DCD-LPR		GPS + ОСХО	На даху	1 200 м	2Мб/с	Не відомо	Немає, не встановлено
DCD-LPR/C		GPS + ОСХО	На даху	242,7 м	2Мб/с	Не відомо	Немає, не встановлено
HP55300A		GPS + ОСХО	На даху	53 м (110 м)	2Мб/с 2МГц	Не відомо	Немає, МЦК Голден Телеком

Time Source 2500	Symmetricom, USA	GPS + OCXO	Крізь стіну, або вікно	20 м	Немає	Не відомо	Немає, не встановлено
Time Source 3000		GPS + OCXO	На даху	300 м	Немає	Не відомо	Немає, не встановлено
Time Source 3100		GPS + OCXO	На даху	300 м	2Мб/с 2МГц	Не відомо	Немає, не встановлено
Time Source 3500		GPS + OCXO	На даху	300 м	2Мб/с 2МГц	Не відомо	Немає, не встановлено
Time Source 3600		GPS+ Rb	Крізь стіну, або вікно	300 м	2Мб/с 2МГц	Не відомо	Немає, не встановлено
OSA 4510	Oscilloquartz, Swiss	GPS + OCXO	На даху	60 м (120 м)	2Мб/с, або 2МГц	~\$10000	Немає, не встановлено
OSA 4531		GPS + OCXO	На даху	60 м (120 м)	2Мб/с, або 2МГц	~\$10000	Немає, не встановлено
CH3836	Орізон-Навігація, Україна	GNSS	На даху	100 м	Немає	~UAH 5000	Немає, не встановлено

11.4.4.4 Сім'я пристроїв синхронізації PRS/SSU компанії Oscilloquartz

11.4.4.4.1 Виокремлений пристрій синхронізації OSA 5548 SASE

Структурну схему пристрою надано на Рис. 11.12.



Вхідні стики:

2,048 Мбіт/с (G.703-9);

2,048 МГц (G.703-13);

64 кГц, 1МГц, 2,048 МГц, 5 МГц
або 10 МГц (аналогові).

Вихідні стики:

2,048 МГц (G. 703-10);

2,048 Мбіт/із (G. 703-6);

5 МГц і 10 МГц (Zвих = 50 Ом);

Рис. 11.12

- Стабільність частоти в режимі "утримання частоти" при 25°C:
деградація: $< 1 \times 10^{-10}$ (ОСХО 8666);
 $< 1 \times 10^{-11}$ за добу (ОСХО BVA 8695);
початкове зрушення частоти: $< 1,5 \times 10^{-11}$.
- При роботі OSA 5548 SASE від приймача GPS точність частоти вихідних сигналів краще, ніж 3×10^{-12} на добу;
- Довжина кабелю антени GPS-приймача від 30 до 100 м;
- Напруга живлення підсилювача антени: від 16 В до 32 В;
- Технічне обслуговування OSA 5548 виконується через інтерфейс RS-232 з використанням програмного забезпечення SyncView;
- Споживана потужність: - 100-120 Вт;
- Габаритні розміри: 399 x 535 x 265 мм;
- Маса: 15 кг;
- Розрахунковий час безвідмовної роботи: 879 років;
- Орієнтовна ціна: ~ \$ 50 000.

11.4.4.2 Компактний пристрій синхронізації OSA 5542В СТО

Структурна схема OSA 5542В наведена на Рис. 11.13.

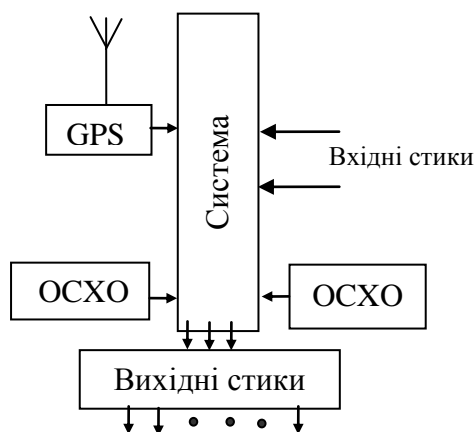


Рис. 11.13

Вхідні стики:

2,048 Мбіт/с (G.703-9);

2,048 МГц (G.703-13);

64 кГц, 5 МГц або 10 МГц (аналогові).

Вихідні стики:

2,048 МГц (G. 703-10);

2,048 Мбіт/із (G. 703-6);

64 кбіт/с (133 Ом);

5 МГц і 10 МГц (50 Ом).

- Стабільність частоти в режимі "утримання частоти" при 25°C:
деградація $< 2 \times 10^{-10}$ на добу або 1×10^{-10} після 30-добової роботи;
початкове зрушення частоти: $< 1,5 \times 10^{-11}$.
- Максимальний стрибок фази при перемиканні вхідних сигналів < 2 нс, а при переключенні каналів < 10 нс.
- OSA 5542 може забезпечити від 16 до 80 виходів сигналів синхронізації.
- Місцеве та дистанційне технічне обслуговування OSA 5542В може здійснюватись через інтерфейс RS-232.
- Довжина кабелю антени: від 30 до 100 м.

- Габаритні розміри пристрою: 133 x 483 x 265 мм.
- Розрахунковий час безвідмовної роботи з урахуванням резервування 727 років.
- Орієнтовна ціна: ~ \$ 35 000.

11.4.4.3 Пристрій синхронізації OSA 5581C GPS-SR

Пристрій синхронізації OSA 5581C GPS-SR (GPS – Synchronization Receiver) є наступним варіантом модернізованого пристрою синхронізації OSA 5542B (за станом на 2000 р.) та призначений для прийому і розподілення сигналів синхронізації на транзитних та місцевих вузлах цифрової мережі зв'язку.

Структурна схема OSA 5581C GPS-SR наведена на Рис. 11.14.

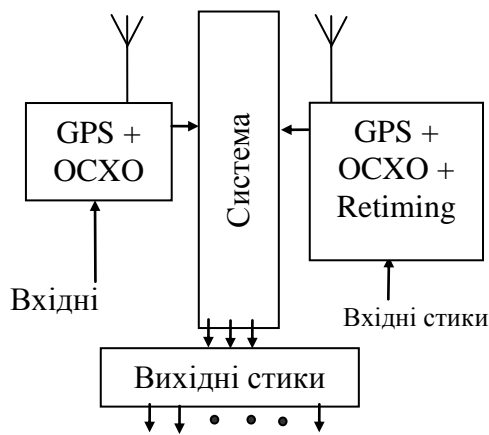


Рис. 11.14

Вхідні стики:

2,048 Мбіт/с (G.703-9);

2,048 МГц (G.703-13);

64 кГц, 5 МГц або 10 МГц (аналогові).

Вихідні стики:

2,048 МГц (G. 703-10);

2,048 Мбіт/із (G. 703-6);

64 кбіт/с (133 Ом);

5 МГц і 10 МГц (50 Ом).

- Стабільність частоти в режимі "зберігання частоти" при 25°C: деградація $< \pm 2 \times 10^{-10}$ на добу; типове значення: 1×10^{-10} на добу після 30 діб експлуатації; початкове зрушення частоти: $< 1,5 \times 10^{-11}$.
- Максимальний стрибок фази при переключенні вхідних опорних сигналів: < 10 нс.
- Пристрій OSA 5581C з GPS-SR може забезпечити: до 48 нерезервованих виходів сигналів синхронізації; до 32 резервованих (за схемою 1+1) та 16 незахищених виходів синхронізації; до 32 резервованих (за схемою 1+1) виходів сигналів синхронізації.
- З використанням блоку RTU (Re-Timing Unit) забезпечується переприв'язка до часу 8 цифрових потоків E1.
- Місьцеве та дистанційне технічне обслуговування OSA 5581C за допомогою програмного забезпечення SynchronView може здійснюватись через інтерфейс RS-232.

- Довжина кабелю антени GPS: від 20 до 60 м;
- Напруга живлення: - 48 В;
- Габаритні розміри пристрою: 133 x 483 x 265 мм;
- Маса: 9 кг;
- Розрахунковий час безвідмовної роботи: 1037 років;
- Орієнтовна ціна: ~ \$ 15 000.

11.4.4.4 Вбудований пристрій синхронізації OSA 4510 GPS-SM

Вбудований пристрій синхронізації OSA 4510 GPS-SM (див. рисунок 11.15) може бути пристосовано до складу будь-якого обладнання.

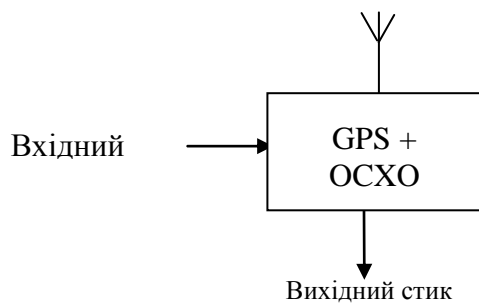


Рис. 11.15

Вхідні стики:

2,048 Мбіт/с (G.703-9), або
2,048 МГц (G.703-13);

Вихідні стики:

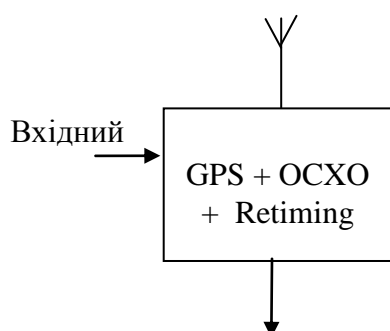
1 Гц

10 МГц

- Кількість супутників, що відстежуються: до 8.
- Схема приймача має резервування (1+1).
- Стабільність частоти в режимі "зберігання частоти" $< 1 \times 10^{-10}$ на добу.
- Точність сигналу 1 Гц відносно UTC: ± 50 нс.
- Габаритні розміри пристрою: 145 x 63,5 x 288 мм.
- Маса: 0,250 кг.
- Розрахунковий час безвідмовної роботи: 1,6 років.
- Орієнтовна ціна: ~ \$ 10 000.

11.4.4.5 Вбудований пристрій синхронізації OSA 453xGPS-SB

Вбудований пристрій синхронізації OSA 453xGPS-SB (див. рисунок 11.16) може бути пристосовано до складу будь-якого обладнання.



Вхідні стики:

2,048 Мбіт/с (G.703-9), або
2,048 МГц (G.703-13) для **OSA 4531**.

Вихідні стики:

2,048 Мбіт/с (G.703-9), або
2,048 МГц (G.703-13) для **OSA 4531**.

Переприв'язка до часу транспортного сигналу

2,048 Мбіт/с для **OSA 4533**.

Рис. 11.16

- кількість сукупних, що відстежуються: до 8.

- Стабільність частоти в режимі "зберігання частоти" $< 1 \times 10^{-10}$ на добу.
- Точність сигналу 1 Гц відносно UTC: ± 50 нс.
- Габаритні розміри: 50,8 x 101,5 x 127 мм;
- Маса: 0,350 кг.
- Розрахунковий час безвідмовної роботи: 1,6 років.
- Орієнтовна ціна: $\sim \$ 10\,000$.
- OSA 453xGPS-SB має вбудований блок живлення (напруга живлення 12 В або 24 В/48 В)

На передній панелі OSA 453xGPS-SB установлені з'єднувачі типу BNC та SUB-D/9 для вводу та виводу сигналів синхронізації та підключення місцевого терміналу. Там же розміщені з'єднувачі для підключення джерела живлення та виводу сигналів синхронізації

11.5 Системи управління мережею тактової синхронізації

11.5.1 Основні загальні функції управління системою тактової синхронізації

При досить швидкому розвитку цифрової мережі дуже важливим є створення і розвиток національної системи управління тактовою мережею синхронізації [13]. Відзначимо, що від прогресу в створенні таких систем управління залежить не тільки чітка робота мереж СТС в національних границях, але й перспектива здійснення спільного функціонування національних мереж СТС як під мереж в мережі СТС. В зв'язку з цим звернемо увагу на основні загальні функції управління СТС, які повинні бути реалізовані і виконуватися за допомогою відповідних програмно-технічних засобів.

Управління якістю в СТС має на увазі постійний контроль якості синхросигналів, що розподіляються по мережі СТС до мережевих елементів, а також виконання всіх необхідних дій по його забезпеченню з використанням результатів вимірювань показників якості відповідними засобами вимірювання.

Управління обробкою несправностей має на увазі збір і обробку даних стану елементів мережі СТС, генерацію аварійних повідомлень і повідомлень про події з метою використання отриманої в такий спосіб інформації для прийняття відповідних рішень. При цьому для полегшення прийняття рішень доцільно забезпечувати виділення первинної несправності з виявленої послідовності несправностей за рахунок здійснення відповідного аналізу генерованих повідомлень.

Управління конфігурацією полягає в дистанційному і місцевому управлінні конфігураційними параметрами елементів мережі СТС з використанням програмно-технічних засобів, що мають графічний інтерфейс користувача. При цьому, зокрема, повинні здійснюватися: перевірка імовірності зміненої конфігурації, її запам'ятовування, архівація і відновлення; реєстрація зміни конфігурації і вирівнювання конфігураційних баз даних кожного елемента мережі СТС і відповідних робочих станцій.

Управління безпекою в системі управління СТС аналогічно управлінню безпекою в будь-якій системі управління електрозв'язком і має на увазі захист від несанкціонованого доступу за допомогою паролів, а також обмеження, виконуваних визначеним оператором функцій у залежності від привласненого йому рівня. Присвоєння рівня ієрархії кожному операторові і зміна цього рівня робиться системним адміністратором. При цьому оператори нижніх рівнів мають доступ тільки, до функцій контролю інформації, а оператори більш високих рівнів (крім зазначених функцій) мають доступ і до функцій конфігурування мережі СТС.

На певному етапі розвитку системи управління СТС і її інтеграції з іншими підсистемами системи управління електрозв'язком (СУЕ) передбачається автоматизоване складання плану мережі СТС із вказівкою обраних джерел тактової синхронізації мережевих елементів, зазначенням рівнів та пріоритетів, із забезпеченням наявності резервних шляхів СТС і оцінкою показників якості синхросигналів для кожного мережевого елемента. Повинна бути забезпечена також передача плану мережі СТС в СУЕ для його обліку з метою забезпечення синхронізації при можливих реконфігураціях мережі.

Найбільш сучасні мережі синхронізації забезпечені системами управління. Головні функції системи управління мережею синхронізації стосуються області управління при відмовленнях, конфігурації і безпеці.

Найбільш сучасні мережі синхронізації забезпечені системами моніторингу, що дозволяють у режимі реального часу безупинно перевіряти якісні показники мережі синхронізації. Основна причина контролю параметрів синхронізації полягає в необхідності превентивного оповіщення, тобто виявлення зниження якості синхронізації задовго до її впливу на якість передачі корисної інформації.

11.5.2 Огляд систем управління мережею синхронізації

У світі найбільш відомі дві системи управління мережами синхронізації, які розроблені та виробляються двома компаніями: Oscilloquartz (Швейцарія) та Hewlett

Packard (США). Кожна з цих компаній розробила спеціалізовану систему управління мережею синхронізації, яка побудована на базі власних пристроїв:

- OSA - 5548 (Oscilloquartz);
- HP-55400A (Hewlett Packard).

Система управління мережею синхронізації Sync View. Система управління мережею синхронізації компанії Oscilloquartz побудована на базі програмного забезпечення Sync View та має чотири рівні управління ;

- мережного менеджера NM (*Network Manager*);
- регіонального менеджера RM (*Regional Manager*);
- локального менеджера LM (*Local Manager*);
- вбудованого блоку менеджера пристрою синхронізації ESM (*Embedded System Manager*).

Система управління Sync View дає можливість управляти групою пристроїв синхронізації OSA-5548, що встановлені на цифровій мережі на різних цифрових вузлах (транзитних або місцевих), та дає змогу оператору дистанційно контролювати та/або конфігурувати пристрої синхронізації за допомогою графічного інтерфейсу користувача GUI (*Graphical user interface*). Програмне забезпечення SyncView реалізує виконання таких функцій:

- візуалізація пристроїв синхронізації SSU з прив'язкою до географічної території розміщення мережі синхронізації;
- дистанційне конфігурування SSU мереженого та регіонального менеджерів;
- захищений доступ;
- контроль права доступу до мережі;
- контроль права доступу до блоків SSU;
- реєстрація команд що подаються на SSU;
- контроль функціонування блоків SSU;
- контроль функціонування RM;
- дистанційний аналіз характеристик якості SSU (*MTIE – Maximum Time Interval Error та TDEV – Time Deviation*);
- оброблення, огляд, архівування проблем, пов'язаних з аварійними сигналами;
- швидкий доступ до бажаних меню;
- документування інформації, відображеної на екрані монітора.

Архітектуру системи Sync View показано на рис. 11.17. При такій архітектурі основне призначення регіонального менеджера RM - виконувати

конфігурування та адміністрування пристроїв синхронізації, що належать до даного регіону.

Призначення мережного менеджера - це адміністрування загальної мережі синхронізації на основі інформації, що міститься в базі даних RM (для цього використовується сервер NM Server). Під час аварії RM його обов'язки повністю бере на себе мережний менеджер NM. До сервера може бути підключено кілька робочих станцій типу "клієнт" для виконання функцій управління мережею синхронізації.

Призначення вбудованого блоку менеджера пристрою синхронізації - виконувати контроль за функціонуванням SSU, формування та передавання аварійних сигналів, прийом та реалізація команд управління, що надходять від RM або NM. У процесі експлуатації до пристрою синхронізації SSU може бути підключений локальний термінал LM через інтерфейс RS-232.

Під час аварії на мережі передавання даних SSU зберігає інформацію про аварійні явища в буферній пам'яті.

Система управління мережею синхронізації має такі конфігураційні характеристики:

- 20 – максимальна кількість RM, що адмініструються одним NM;
- 64 – максимальна кількість об'єктів контролю (SSU), що охоплені одним RM.

Щоб не було програмних конфліктів та невизначеностей, кожний SSU в той самий час може контролюватися тільки одним адміністратором (LM, RM або NM). Якщо SSU зайнята одним адміністратором, а інший посилає команду до цього SSU, то цей адміністратор одержує спеціальне повідомлення.

Система управління мережею синхронізації HP Smart View. Компанія Hewlett Packard (США) розробила, виробляє та постачає замовникам систему управління мережею синхронізації HP Smart View Synchronization Management на платформах PC, NT, UNIX. Усі три платформи забезпечують можливості:

- відображення на моніторі мажорних, мінорних та критичних аварійних сигналів;
- відображення якості функціонування пристроїв синхронізації SSU на заданому відрізку часу та в різних точках мережі, а також накопичення інформації в реальному масштабі часу про якісні показники сигналу синхронізації (MTIE, TDEV та відхилення частоти $\Delta f/f$);
- конфігурування пристроїв синхронізації SSU;
- діагностування плати пристроїв синхронізації.

Архітектуру системи управління мережею синхронізації компанії Hewlett Packard зображено на рис. 11.18.

Програмне забезпечення системи управління мережею синхронізації Hewlett Packard має такі складові:

- програмне забезпечення локального терміналу - HP 55450A Smart View Synchronization Management/ PC;
- програмне забезпечення невеликих мереж синхронізації в масштабі окремого регіону мережі синхронізації - HP 55451A Smart View Synchronization Management/ NT;
- програмне забезпечення управління великими мережами синхронізації (в масштабах усієї країни) - HP 55451A Smart View Synchronization Management/ UX.

Програмне забезпечення локального терміналу HP 55450A використовується як інструмент інсталяції та експлуатації пристрою синхронізації SSU. Це програмне забезпечення встановлюється в портативний комп'ютер та забезпечує

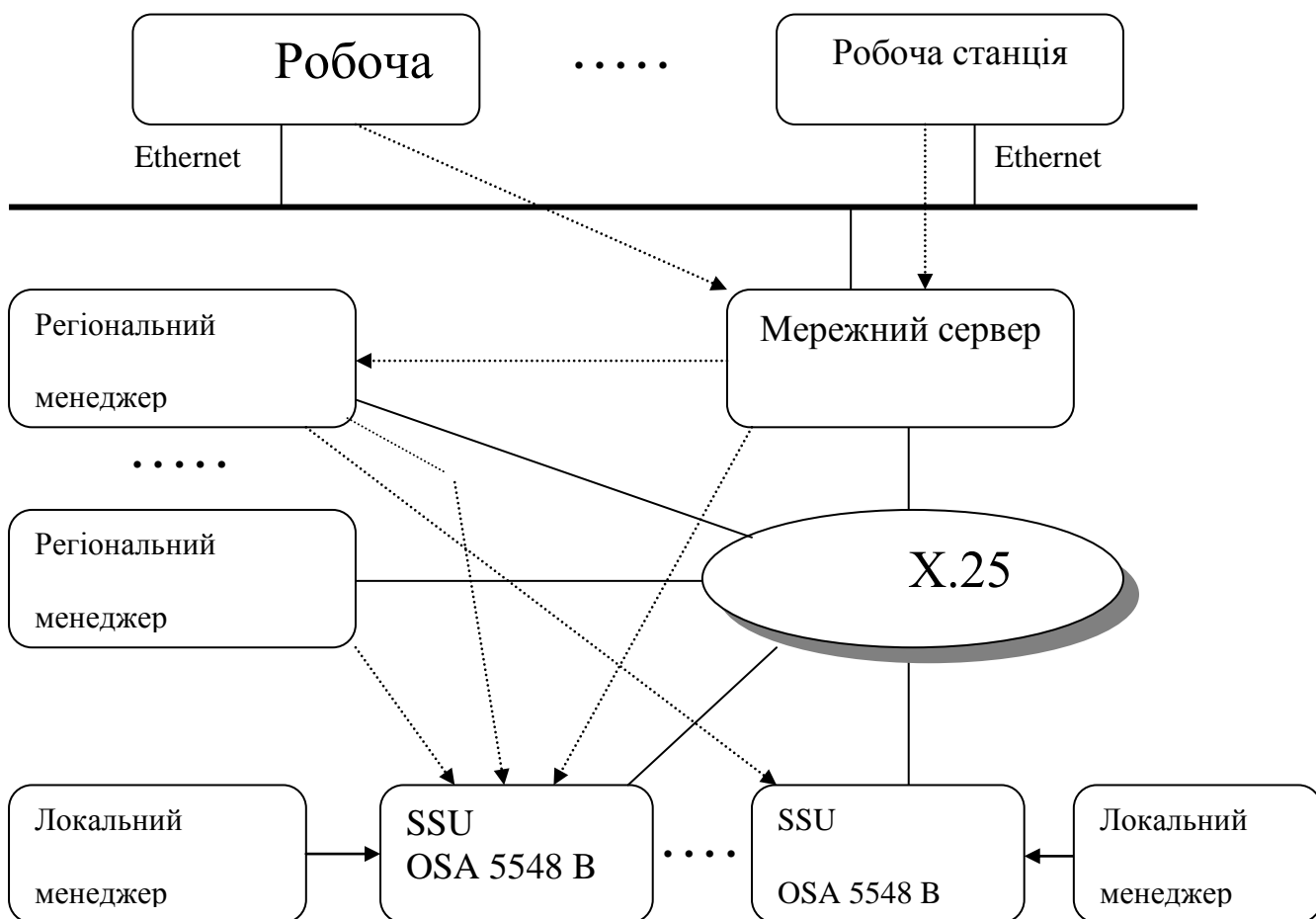


Рисунок 11.17 – Архітектура системи управління Sync View

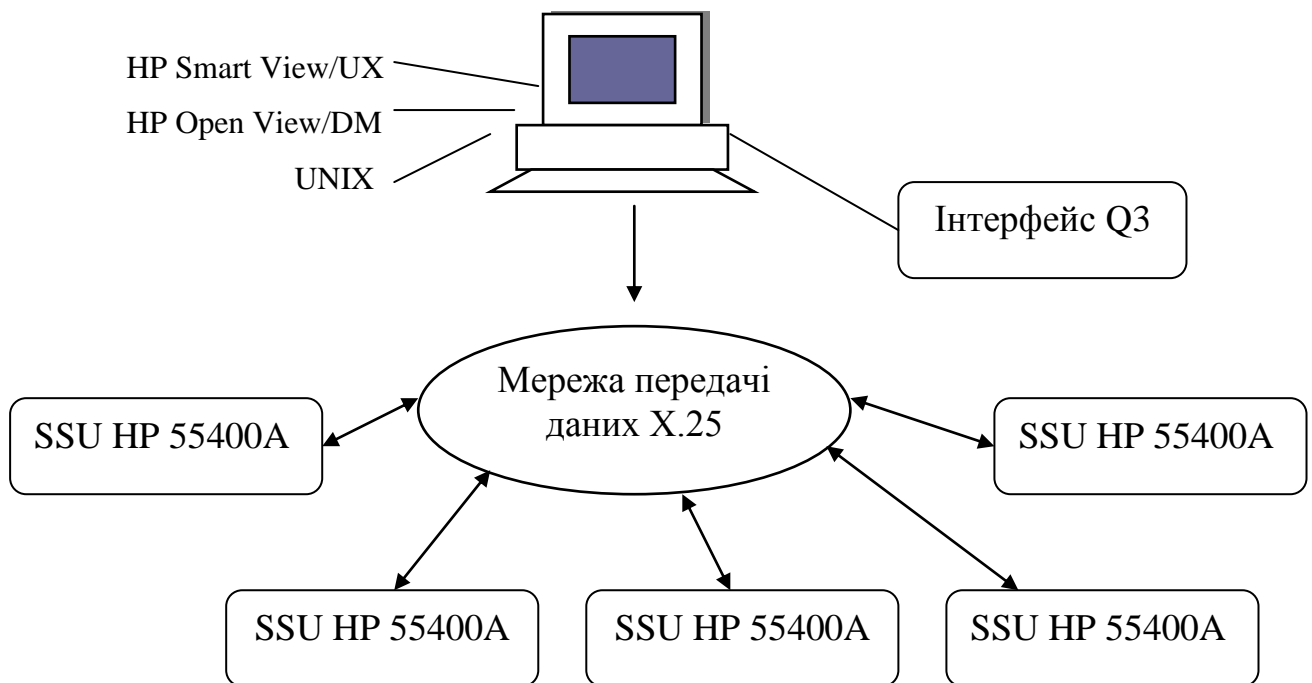


Рисунок 11.18 – Архітектура системи управління мережею синхронізації

роботу локального терміналу пристрою синхронізації HP 55400A.

Програмне забезпечення невеликих мереж синхронізації HP 55451A Synchronization Management/NT за допомогою маршрутизаторів та модемів дає можливість забезпечувати управління та постійний контроль кожного SSU свого регіону (регіональні мережі). Smart View працює в програмному середовищі Windows NT.

Програмне забезпечення управління великими мережами HP 55453 CA Smart View Synchronization Management/UX перетворює синхронізацію в мережну функцію, якою управляє оператор, і є рішенням компанії Hewlett Packard для концепції TMN. HP 55453 виконується на базі програмної платформи HP Open DM (побудований на HP - UX). HP Open DM як мережка платформа управління використовується багатьма постачальниками технічних засобів телекомунікацій. База даних Oracle зберігає інформацію про стан мережних елементів, що контролюються, в будь-який момент часу.

Програмне забезпечення Smart View/UX інтегрується з іншими прикладними реалізаціями HP Open View. Наприклад, програмне забезпечення HP Open View SDH контролює джерела синхронізації, що є складовою частиною мультиплексорів мережі SDH. Програмне забезпечення Smart View/UX контролює SSU мережі синхронізації (регіону). Активізація Smart View разом з Open View надає можливість огляду регіону (усієї мережі) з однієї робочої станції. Створивши свою мережу даних (або використовуючи уже існуючу), Smart View незалежно від технології та архітектури цифрової мережі дає можливість оперативно визначити SSU, на якому виникла

проблема в мережі синхронізації (відмова каналу синхронізації, погіршення якості сигналу синхронізації, переключення каналів синхронізації, відмова окремих блоків SSU та ін.).

Smart View/UX підтримує мережні протоколи LAN або X.25.

11.5.3 Проблеми створення системи контролю та управління мережею синхронізації.

Національна система синхронізації, що створюється, призначена для встановлення та підтримання середньої частоти цифрових сигналів, які піддаються цифровій комутації, цифровому транзиту та синхронному об'єднанню в цифровій мережі телекомунікацій загального користування. Це потрібно для того, щоб часові співвідношення між сигналами не виходили за певні межі, а частота проковзувань у цифровій мережі не перевищувала б значень, встановлених для міжнародного цифрового з'єднання [20].

Система синхронізації складається з таких компонентів:

- мережі розподілу сигналів синхронізації;
- пристроїв синхронізації (першого, другого, третього та четвертого рівнів ієрархії);
- об'єктів синхронізації (ведених пристроїв синхронізації цифрових комутаційних станцій, апаратури систем передачі, апаратури мультиплексування синхронної ієрархії, апаратури оперативного перемикавання основного цифрового каналу (ОЦК), а також каналоутворюючої апаратури, що використовується для організації цифрового транзиту ОЦК або групи ОЦК);
- технічних засобів звіряння опорних частот пристрою синхронізації першого рівня ієрархії;
- технічних засобів управління мережею синхронізації з програмним забезпеченням;
- технічних засобів забезпечення експлуатації (комплектів змінних частин, комплектів запасних частин, інструментів та приладдя, матеріалів, спеціалізованих комплектів вимірювальних приладів);
- технічного персоналу, який виконує поточне обслуговування апаратури синхронізації, технічних засобів управління та звіряння опорних частот (включаючи організацію перевірки контрольно-вимірювальних приладів).

Із світової практики створення цифрових мереж відомо, що управління синхронізацією має такі особливості:

- управління синхронізацією кілець SDH виконується за допомогою штатних робочих станцій компанії-постачальника обладнання SDH;
- управління виділеними пристроями синхронізації виконується за допомогою окремих технічних засобів та програмного забезпечення й окремої виділеної мережі передачі даних.

Управління синхронізацією кілець SDH виконується за допомогою елемент-менеджера (EM) або вузлового менеджера у такому порядку:

- визначаються джерела, що можуть використовуватися як опорні;
- визначаються пріоритети щодо вибору опорних джерел;
- визначаються рівні якості переданих сигналів 2 Мбіт/с і відповідних їм сигналів синхронізації з частотою 2 МГц;
- для кожного інтерфейсу STM-N вибирається фіксований рівень якості або можливість використання повідомлення про статус синхронізації SSM.

Через те, що на діючій мережі телекомунікацій загального користування сигнали 2 Мбіт/с та вхідні сигнали синхронізації 2 МГц не несуть повідомлень SSM, оператор за допомогою EM може встановити цим сигналам бажаний рівень якості аж до рівня первинного пристрою синхронізації PRC (*Primary Reference Clock*), якщо вхідний сигнал 2 МГц надійшов від джерела високого рівня.

На екрані монітору EM відображаються режими синхронізації та режим використання списку можливих джерел синхронізації. Також на окремому вікні відображається процедура заміни пріоритету та рівня якості.

EM може використовувати три режими роботи системи синхронізації:

- використання списку пріоритетів для вибору найкращого можливого джерела синхронізації як опорного зі списку, сформованого відповідно до пріоритетів;
- ручний вибір джерела синхронізації;
- режим утримання синхронізації.

Слід зазначити, що з розвитком цифрової мережі тел е комунікацій проблема створення підсистеми управління виділеними пристроями синхронізації типу первинного пристрою синхронізації PRC та автономного веденого пристрою синхронізації SASE (*Stand Alone Synchronization Equipment*) стає все більш актуальною. Потрібно розробити нормативний документ, який регламентуватиме створення підсистем управління виділеними пристроями синхронізації. Цей документ має визначити:

- архітектуру підсистеми управління виділеними пристроями синхронізації;
- вимоги до інтерфейсів технічних засобів;
- вимоги до мережі передачі даних;
- вимоги до програмного забезпечення;
- вимоги безпеки та конфіденційності.

11.6 Структурні схеми мережі синхронізації та рекомендацій для застосування на мережі України

11.6.1 Варіанти архітектури мережі синхронізації СЦІ України

За сучасними уявленнями щодо мереж синхронізації існують три підходи до їх архітектури [2]:

- 1) перший варіант – мережа з єдиним первинним пристроєм синхронізації (PRC);
- 2) другий варіант – мережа з розподіленими PRC;
- 3) компромісний варіант – мережа з частково розподіленими PRC:
 - а) незалежні PRC;
 - б) залежні PRC.

Перший варіант: мережа з єдиним первинним пристроєм синхронізації. В історичній ретроспективі необхідність синхронізації мереж зумовлена впровадженням цифрових центрів комутації у транспортне оточення ПЦІ. Тому для “класичного” варіанта мережі синхронізації характерні два жорсткі статичні принципи.

1. Первинний пристрій синхронізації є єдиним джерелом синхронізації для всієї мережі.

2. Характеристики ведених пристроїв синхронізації мають відповідати суворій рівневій ієрархії, тісно пов’язаній із ієрархією центрів комутації.

Тому класичний варіант примусової синхронізації ще називають “деспотичним”. Характерною ознакою класичного варіанта є те, що первинний пристрій синхронізації має бути автоматичним джерелом, тобто без входу синхронізації (у сучасних PRC завжди використовують приймальні пристрої GPS/ГЛОНАСС (глобальна навігаційна супутникова система). Точність частоти на його виході має бути не менш ніж 1×10^{-11} , що є неявною підказкою стосовно придбання доступних цезієвих генераторів виробництва США з такою гарантованою стабільністю.

Другий варіант: мережа з розподіленими первинними пристроями синхронізації. Найстиглішою характеристикою цього варіанта є така: “PRC у кожній АТС”. Ця перспектива нав'язана двома тенденціями.

За прогнозом Bell Communications Research вже незабаром довготривала частота первинних та вторинних центрів комутації для надання послуг зв'язку не перевищуватиме таких значень (див. Таблицю 11.22):

Таблиця 11.22

Стик синхронізації	Добова стабільність		Тижнева стабільність	
	часу, нс	частоти, Гц	часу, нс	частоти, Гц
Первинний вузол	60	7×10^{-13}	60	1×10^{-13}
Вторинний вузол	70	8×10^{-13}	185	3×10^{-13}

Задовольнити ці вимоги можна лише в разі використання для синхронізації мереж супутникових систем навігації, які нестримно поширюються останнім часом.

На відміну від першого граничного варіанта мережа синхронізації з розподіленими первинними пристроями синхронізації аж ніяк не пов'язана з ієрархією цифрових центрів комутації. Вона є не ієрархічною, а сплющеною: одну й ту саму стабільність забезпечують у центрі комутації будь-якого рівня – отже, другий принцип класичного варіанта тут не придатний.

Лишається перший принцип єдиного джерела синхронізації – ним є координований всесвітній час (UTC), що поширюється повідомленнями супутникових систем навігації.

Компромісний варіант: частково розподілені первинні пристрої синхронізації. Раніше було розглянуто граничні варіанти:

- з єдиним первинним пристроєм синхронізації для всієї мережі;
- з первинними пристроями синхронізації у кожному вузлі мережі.

Перший із цих варіантів є характерним для мереж минулого, а другий має бути чи не кінцевим етапом розвитку мереж синхронізації щодо їх сучасного розуміння. Отже, для сучасних мереж мають бути компромісні рішення, які являють собою етапи динамічного переходу від першого граничного варіанта до другого.

Незалежні частково розподілені первинні пристрої синхронізації. Цей різновид компромісного варіанта є просто дробленням усієї мережі синхронізації на синхронні субмережі (острови) синхронізації таким чином, що цілісність її

зберігається за допомогою взаємного моніторингу стиків PRC кожної субмережі. Моніторинг використовується для того, щоб SSU синхронної субмережі, в якій місцевий PRC вийшов із ладу, підімкнути до сусідньої субмережі без порушення трафіку. До SSU місцевий PRC підмикається за першим пріоритетом.

Залежні частково розподілені первинні пристрої синхронізації. У цьому разі, навпаки, за першим пріоритетом до входів місцевого SSU підімкнено канали відстеження “головного” PRC, а за другим пріоритетом – місцевий PRC. Коли канал синхронізації від головного PRC виходить із ладу, то підмикається місцевий PRC. Отже, якщо до аварії норми на сигнали синхронізації задовольнялися, то й під час аварії цілісність трафіку буде збережено.

Вибір між незалежними та залежними частково розподіленими PRC має ґрунтуватися на таких оцінках:

- стабільності сигналів на стиках синхронізації;
- надійності стиків синхронізації.

Отже, місцевий PRC має бути підімкнено до першого SSU низки синхронізації за першим пріоритетом, якщо він задовольняє два критерії:

1. Місцевий PRC стабільний (за показниками нестабільності) порівняно з опорним сигналом на стику синхронізації, що його надсилає віддалений “голосовий” PRC.
2. Надійність місцевого PRC вища, ніж каналу синхронізації од віддаленого “голосового” PRC.

Перевагу віддаленому “голосовому” PRC можна надавати лише за умови невиконання одного із зазначених критеріїв.

Відповідність цим критеріям встановлюють, з одного боку, періодичним атестуванням, а з іншого – безперервним моніторингом стиків синхронізації. Принципи атестування та моніторингу мають відповідати нормативним документам, які необхідно розробити згідно з виконаними дослідженнями.

11.6.2 Структурна схема мережі синхронізації

В даний час перед ВАТ «Укртелеком» при побудові СТС виникли наступні проблемні питання:

- як раціонально використовувати існуюче обладнання тактової синхронізації;
- яким чином забезпечити резервування маршрутів розподілу синхросигналу і створити систему управління мережею синхронізації;

- як забезпечити продаж синхросигналу різним споживачам гарантованої якості, забезпечивши його контроль і вимірювання;
- як гарантувати якісне проектування і реалізацію СТС в цілому;
- серйозна проблема – забезпечення мережі освіченим технічним персоналом.

Простеживши за хронологією публікацій, у яких послідовно пророблялися принципи побудови мережі синхронізації для первинної мережі України, то цей процес майже збігся за часом з аналогічними напрацюваннями в інших країнах і відбувався під впливом перегляду основних положень нормативної бази синхронізації мереж. Положення Концепції і Стандарту підприємства практично збігаються з цими напрацюваннями. Зокрема, для первинної мережі ВАТ «Укртелеком» прийнята концепція мережі примусової синхронізації з розподіленим PRC, що представлена на рис. 11.23, а на рис. 11.24 приведений приклад варіанту реалізації СТС на цифровій мережі України. На рис. 11.24 перший рівень ієрархії побудови мережі синхронізації реалізується за допомогою ПЕГ, другий – ВЗГ, третій - ГСЭ в мультиплексах СЦІ.

Без використання сигналів супутникових радіонавігаційних систем, оперуючи обмеженими засобами, неможливо забезпечити необхідну якість синхронізації мережі такого масштабу, як первинна мережа ВАТ «Укртелеком».

Архітектурою СТС повинна гарантуватися незалежність її працездатності від зовнішніх впливів, у тому числі і від таких малоймовірних, як вихід (або вивід) з ладу супутникових радіонавігаційних систем.

Структура мережі ВАТ «Укртелеком» яка реалізується (див. рис. 11.23) задовольняє перерахованим умовам: у будь-якому вузлі мережі по першому пріоритету підключається стик синхронізації місцевого PRC. У той же час у випадку аварії в будь-якому вузлі мережі по другому пріоритеті доступний сигнал синхронізації від супутника GPS. Відзначимо, що основою PRC повинен бути логічно єдиний пристрій, що складається з трьох функціонально рівноправних частин, але територіально рознесених навколо географічного центру країни.

Спочатку мережа синхронізації України була побудована на основі ТЕР «Створення системи синхронізації цифрової мережі зв'язку» у 1997 р. Структурна схема такої мережі приведена на рис. 11.25. В даний час передбачається на мережі ВАТ «Укртелеком» реалізувати схему СТС приведену на рис. 11.23.

Стверджувати, що проблем синхронізації первинної мережі ВАТ «Укртелеком» не існує, не приходится — дотепер вирішувалися лише приватні задачі синхронізації її фрагментів, часто за допомогою різних закордонних компаній, що вигравали тендери на окремі проекти. Тільки до кінця 2002 р. була усвідомлена узагальнена постановка проблеми і складність її вирішення відповідно до міжнародних стандартів [11]. Цьому сприяли цілком об'єктивні причини:

- будівництво і введення в експлуатацію волоконно-оптичних ліній «Таврія», «Дністер», «Карпати», «Полісся», «Десна», «Вуглик» і «Січ» знаменують собою перетворення первинної мережі в мережу де-факто; якщо

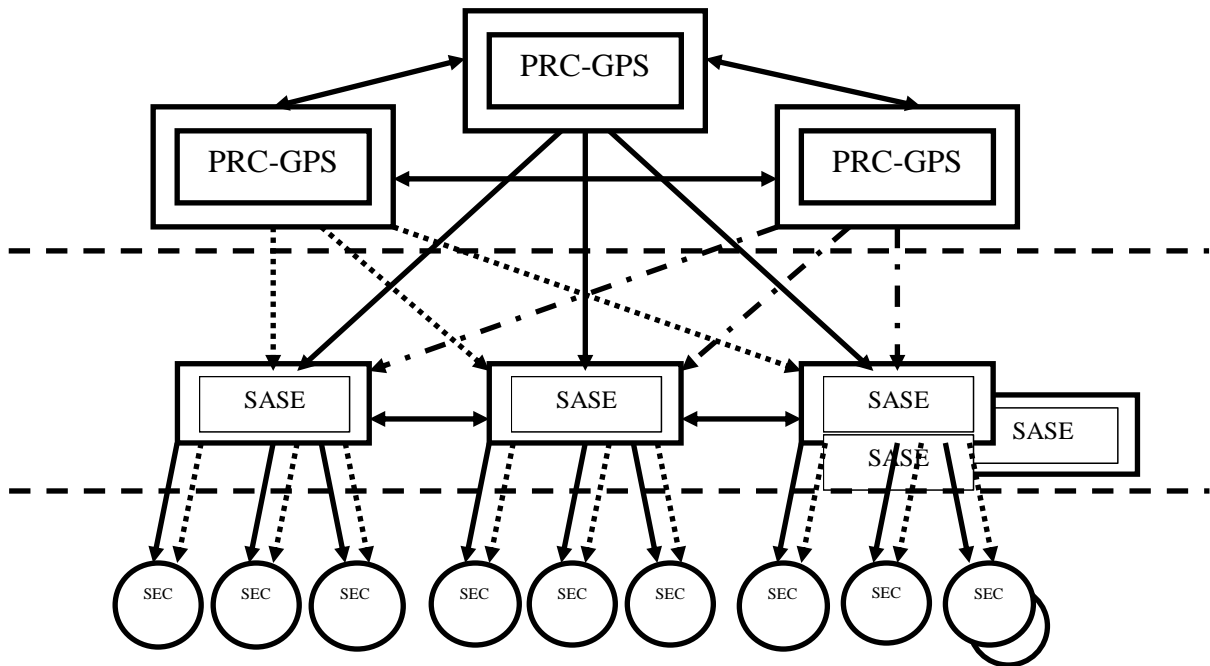


Рисунок 11.23 – Мережа синхронізації ВАТ “Укртелеком” з розподіленням PRC

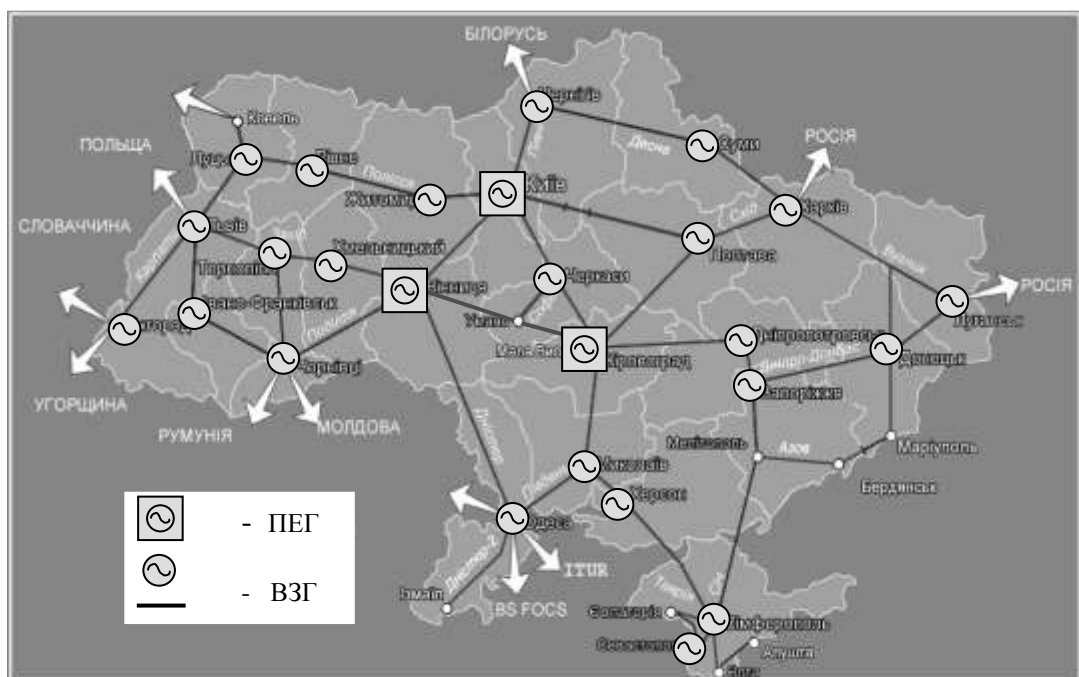


Рисунок 11.24 – Приклад реалізації СТС на цифровій мережі України

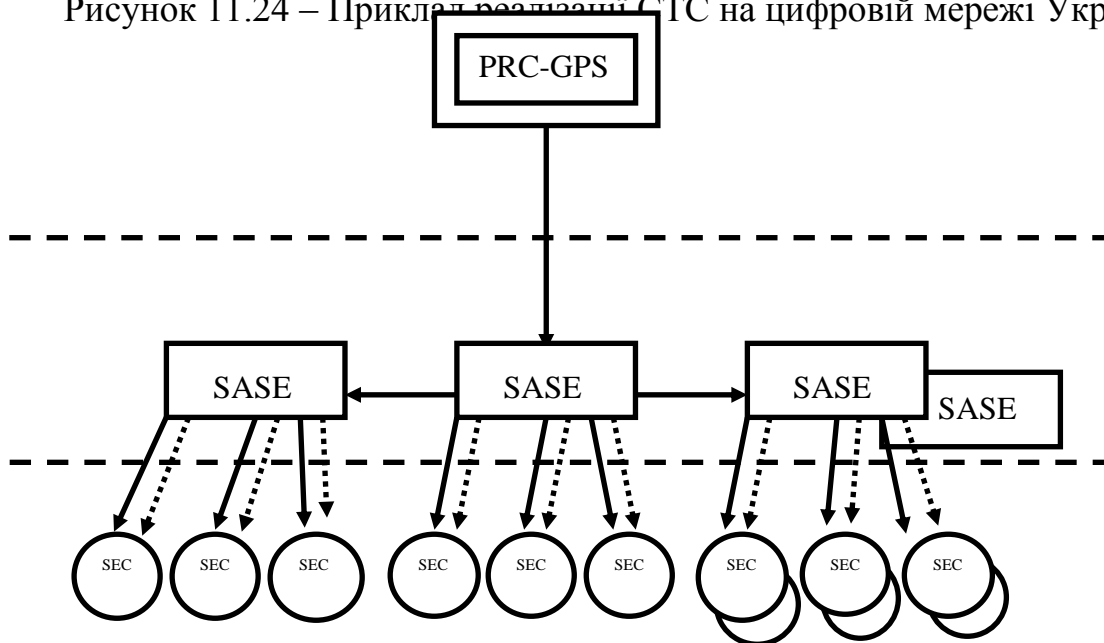


Рисунок 11.25 – Мережа синхронізації України побудованої на основі ТЕР 1997р.

дотепер вона була простим набором незамкнутих ліній («Південь», «Північ», «Захід», Схід», «Дніпро-Донбас», «Карпати»), то зараз стає системою, що складається, щонайменше з п'яти замкнутих кілець, синхронізація яких вимагає значно більшої уваги в процесі проектування й експлуатації;

- на первинній мережі склався парк обладнання синхронізації, котре повинно використовуватися значно ефективніше, ніж дотепер;

- первинна мережа повинна забезпечувати послуги по наданню стиків синхронізації регіональним і іншим операторам, але не може цього робити через відсутність методик атестації стиків і незалежних метрологічних служб, здатних реалізувати ці методики;

- відсутність контролю параметрів якості СТС і системи керування мережею.

- недолік висококваліфікованих фахівців з СТС.

В даний час система тактової синхронізації мережі України має безліч проблем побудови, розвитку й удосконалювання. До таких проблем відноситься проблема ефективного контролю мережі. Рішення її тісно пов'язано з розробкою і придбанням необхідних засобів контролю і вимірювання характеристик і параметрів якості синхросигналів СТС, що забезпечують аудит і моніторинг

мережі. Вирішення цих та інших питань, що відносяться до метрологічного забезпечення і технічної експлуатації мережі СТС, допоможе забезпечити надійну передачу інформації з потрібною якістю в мережі ВАТ «Укртелеком».

11.6.3 Рекомендації щодо системи моніторингу та управління мережею синхронізації

На первинній транспортній мережі ВАТ "Укртелеком" має бути розгорнуто систему управління мережею синхронізації, до складу якої входять:

- 1) система управління мережею (Network Manager), функціями якої є конфігурування та адміністрування всієї мережі синхронізації;
- 2) система регіонального управління (Regional Manager), яка призначена для конфігурування та адміністрування частини мережі синхронізації;
- 3) система управління елементом мережі (Local Manager) для місцевого управління виокремленого пристрою SASE з прямим доступом до обладнання через стик Ethernet, RS 232 або інші;
- 4) технічні засоби для створення виокремленої мережі передачі даних (маршрутизатори з інтерфейсами X.25, Ethernet, G.703, універсальні перетворювачі інтерфейсів RS 232/G.703, X.25/G.703, Ethernet/G.703);
- 5) виокремлена мережа передачі даних на базі цифрових каналів 64 кбіт/с;
- 6) програмне забезпечення, програмна та експлуатаційна документація.

За визначенням система управління мережею синхронізації має два ієрархічні рівні – з Network Manager на першому (вищому) та з Regional Manager на другому рівнях. Зразок її показано на рис. 11.26.

Об'єктами управління системи управління мережею синхронізації є SASE, а також SSU, що входять до складу PRC (див. Рис. 5.4). Але відносно PRC функції системи управління є обмеженими тільки моніторингом (тобто вимірюванням характеристик та виявленням аварійних ситуацій). Взагалі PRC не потребує втручання експлуатаційного персоналу, тому усунення аварій PRC та його конфігурування мають виконувати спеціально підготовлені фахівці з підприємства-виробника, або персонал центру обслуговування з застосуванням Local Manager.

При наявності більш ніж одного PRC на мережі синхронізації систему дистанційного моніторингу має бути встановлено, навіть якщо немає ані Network Manager, ані Regional Manager: система моніторингу є необхідною умовою побудови мережі синхронізації з частково розподіленими PRC. Розроблення такої системи потребує спеціальних досліджень.

Системи управління мережею синхронізації – це окремі спеціалізовані апаратно-програмні комплекси, які розроблено виробниками обладнання синхронізації для його експлуатації. Їх створено за принципами TMN також як і системи управління мережею SDH, отже основною проблемою їх впровадження є проблема сумісності систем управління від різних виробників. Є дві стратегії щодо вирішення проблеми сумісності:

а) застосувати на мережі синхронізації SASE від будь-якого виробника без обмежень та підібрати системи управління мережею синхронізації, що є сумісною з усіма типами SASE (або замовити її розробку);

б) обмежитись застосуванням SASE від одного виробника з використанням системи управління, що є притаманною саме для цього типу SASE.

Як відомо, згідно концепції TMN будь-яка система управління має підтримувати стик Q.3, призначенням якого є забезпечення взаємодії систем від різних постачальників на рівні елемента мережі. Але на практиці проблему сумісності вважають надзвичайно складною та далекою від вирішення. Тому стратегія потребує ретельного вивчення та тестування системи управління мережею синхронізації, постачальник якої декларує універсальну сумісність.

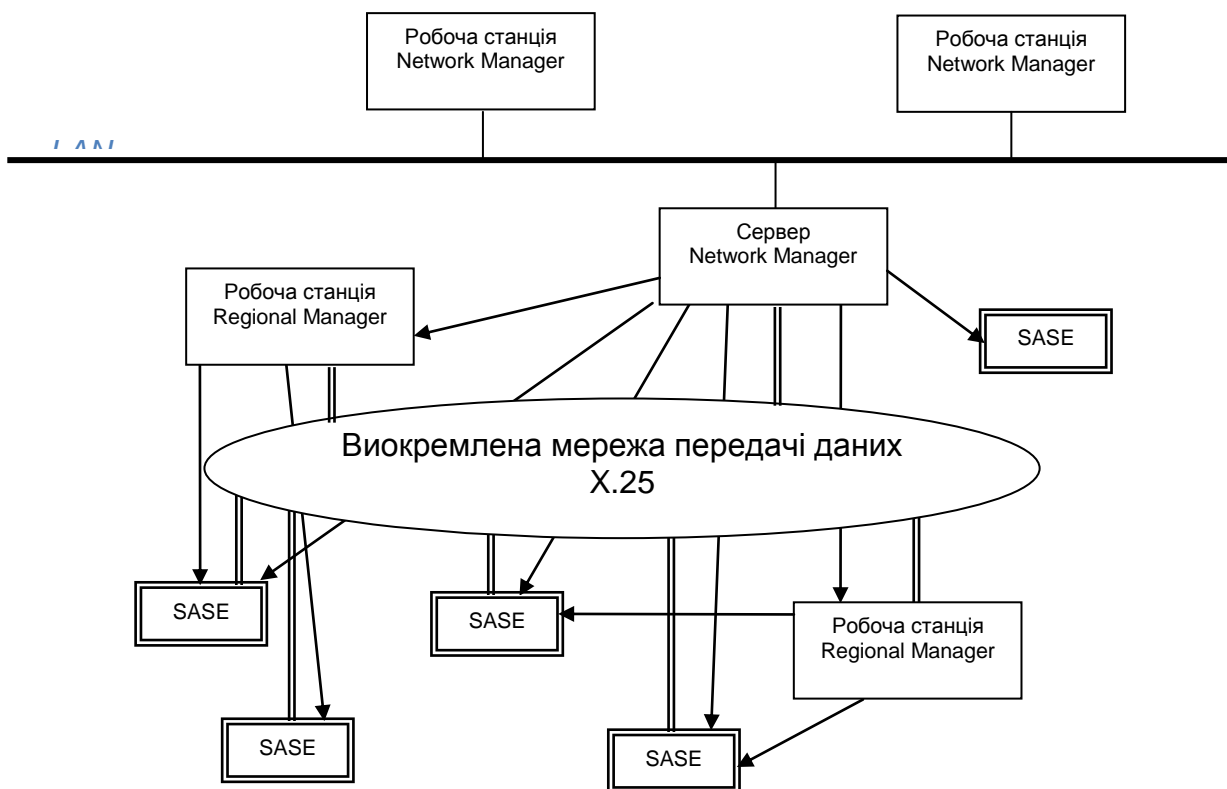


Рисунок 11.26 – Система управління мережі синхронізації

ВАТ "Укртелеком" має дотримуватись стратегії з таких причин:

- кінцевий виконавчий механізм системи управління мережею синхронізації

міститься в SASE;

- 80 % SASE, яких встановлено на первинній мережі – це обладнання світового рівня від компанії Oscilloquartz;
- SASE такого класу виробляють дві-три компанії в світі та постачають приблизно за однією ціною;
- застосування SASE одного типу разом з притаманною йому системою управління зменшує вартість обслуговування (гарантійного, тощо) та розширення мережі синхронізації;
- витрати на альтернативне програмне забезпечення, його розширення, доробку та супроводження мають тенденцію до необмеженого збільшення.

11.6.4 Рекомендації щодо метрологічного забезпечення

До 90 % трудомісткості технічного обслуговування та експлуатації мережі синхронізації – це є вимірювання каналів та стиків синхронізації, їх атестування, тощо. Для цього Дирекція первинної мережі ВАТ "Укртелеком" має придбати не менш двох спеціалізованих вимірювальних приладів.

Результати атестування стиків синхронізації мають бути узгодженими з центром сертифікаційних випробувань "УНДІЗ" та з базовою організацією метрологічної служби ДКЗІУ в УНДІЗ.

Відповідно Закону України про метрологію та метрологічну діяльність Дирекція первинної мережі ВАТ "Укртелеком" має право проводити атестування стандартів частоти (PRS), які є складовою частиною PRC, з залученням акредитованих на відповідну діяльність підрозділів Держстандарту або іншого підпорядкування.

11.6.5 Рекомендації щодо вибору пристроїв синхронізації

На первинній мережі ВАТ "Укртелеком" встановлено LPR-PRC-DCD-521 за неповною комплектацією. Важливою обставиною є те, що сигнал синхронізації від нього надходить на первинну мережу через SASE типу OSA 5548.

На основі огляду пристроїв синхронізації та з причин, на які вказано в пункті, для первинної мережі ВАТ "Укртелеком" уніфікація обладнання SASE є обов'язковою.

За сучасним станом технології пристроїв синхронізації розширення застосування "класичних PRC" (див. розділ 11.4.4.2) не є доцільним з таких причин:

- 1) основне функціональне навантаження на сучасних мережах синхронізації полягає на SASE – це є найпоширеніший клас пристроїв синхронізації;
- 2) у порівнянні з SASE технологіям PRS притаманна низька надійність;
- 3) підсистема управління та технічної експлуатації SASE – це є кінцевий виконавчий механізм системи управління мережею синхронізації;

- 4) є розвинений ринок різноманітних PRS (див. розділи 11.4.4.2);
- 5) родина пристроїв синхронізації SSU компанії Oscilloquartz є обладнаною різноманітними вхідними стиками, такими що є притаманними для стандартів частоти, тощо (див. розділ 11.4.4.3 та 11.4.4.4).

За принципом незалежності від стану СРНС, але з використанням навігаційних сигналів СРНС для рівномірного поліпшення точності та стабільності сигналів синхронізації. Дирекція первинної мережі ВАТ "Укртелеком" має дотримуватись гнучкої стратегії розвитку мережі синхронізації з врахуванням історичних та економічних факторів. Основними напрямками цієї стратегії є такі.

В перспективі всі SASE, які встановлюватимуться для розвитку мережі синхронізації мають належати до родини пристроїв синхронізації SSU компанії Oscilloquartz (див. розділ 11.4.4.4). Це спрощуватиме її технічне обслуговування та експлуатацію та сприятиме створенню системи управління мережею синхронізації з мінімальними витратами;

Замість застосування коштовних "класичних PRC" розвиток мережі синхронізації має бути оснований на "доробці" SASE виокремленими PRS, технологію яких (GPS/ГЛОНАСС+ОСХО або КСЧ+ОСХО) має бути вибрано за генеральним планом мережі синхронізації.

Контрольні запитання

1. Чому необхідна тактова синхронізація?
- Перелікуйте типи синхронізації в електрозв'язку
3. Поясніть необхідність СТС для мережі СЦІ.
4. Назовіть режими синхронізації мережі.
5. Які є методи синхронізації мережі?
6. Елементи мережі тактової синхронізації.
7. Викласти технічні вимоги до PRC.
8. Технічні вимоги до виокремлених ведених пристроїв синхронізації (SASE, SSU).
9. Технічні вимоги до вбудованих ведених пристроїв синхронізації (SEC).
10. Принципи використання навігаційних повідомлень GPS/ГЛОНАСС для синхронізації мережі ВАТ "Укртелеком."
11. Вимірювальне обладнання та пристроїв синхронізації.
12. Огляд вимірювального обладнання .
13. Огляд пристроїв синхронізації.
14. "Класичні" PRC.
15. Первинні джерела синхронізації (PRS) на основі квантових стандартів частоти.

16. PRS на основі приймачів GPS/ГЛОНАСС.
17. Сім'я пристроїв синхронізації PRS/SSU компанії Oscillogurtz.
18. Виокремлений пристрій синхронізації OSA 5548 SASE.
19. Компактний пристрій синхронізації OSA 5542B СТО .
20. Пристрій синхронізації OSA 5581C GPS-SR.
21. Вбудований пристрій синхронізації OSA 4510 GPS-SM.
22. Вбудований пристрій синхронізації OSA 453xGPS-SB.
23. Системи управління мережею тактової синхронізації.
24. Основні загальні функції управління системою тактової синхронізації
25. Огляд систем управління мережею синхронізації.
26. Проблеми створення системи контролю та управління мережею синхронізації.
27. Структурні схеми мережі синхронізації та рекомендацій для застосування на мережі України.
28. Варіанти архітектури мережі синхронізації СЦІ України.
29. Структурна схема мережі синхронізації.
30. Рекомендації щодо системи моніторингу та управління мережею синхронізації.
31. Рекомендації щодо метрологічного забезпечення.
32. Рекомендації щодо вибору пристроїв синхронізації.
33. Синхронна тактова синхронізація та її впровадження на первинні мережі України.

Список рекомендованої літератури

1. Стеклов В.К., Кільчицький Є.В. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій – К.: Техніка, 2002.-438с.
2. Бірюков М.Л., Вакась В.І., Лук'яненко М.В., Савчук О.В. Проблеми синхронізації мереж зв'язку в Україні // Зв'язок. – 2001. - №4 – С. 10-14
3. РТМ по построению тактовой сетевой синхронизации на цифровой сети связи российской федерации – ЦНИИС. Москва, 1995г.
4. Савчук О.В., Черняк І.П. Становлення нормативної бази з синхронізації мереж: перші кроки // Вісник УБЕНТЗ – 2002. - №1 – С. 57-60
5. Стефано Брени Синхронизация цифровых сетей связи: Пер.с англ. – М.: Мир, 2003. – 456 ст.
6. Алексеев Ю.А., Бирюков В.А., Колтунов М.Н. Комплекс аппаратуры синхронизации цифровой сети // Электросвязь – 1991. - №11 – С. 20-22.
7. Алексеев Ю.А., Колтунов М.Н. Построение тактовой синхронизации на цифровой сети. Матеріали доповідей Ювілейної міжнародної науково-

- практичної конференції 15-18 грудня 1998 р., м. Київ.: Знання 1999 – С. 77-80.
8. Леготин Н.Н. Аппаратура для измерения параметров тактовой сетевой синхронизации. Матеріали доповідей Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції 15-18 грудня 1998 р., м. Київ.: Знання 1999 – С. 81-84.
 9. Бондаренко В.Г. Керівний технічний матеріал (КТМ) по застосуванню систем апаратури синхронізації цифрової ієрархії на мережі зв'язку України. ДКЗІ, ДПМ Укртелеком. – К.: 1999 р., 82 ст.
 10. В.Г. Бондаренко, “Необхідність системи сіткової синхронізації для перспективної цифрової мережі України” // III-я Международная конференция по электросвязи, телевизионному и звуковому вещанию, Укртелеком – 97.
 11. Хиленко В.В., Копийка О.В., Суворова А.В., Бирюков Н.Л. Архитектура сетей синхронизации: эволюция представлений о синхронизации сетей // Зв'язок. – 2003. - №4 – С.7-12.
 12. СТП 001.012.02 ВАТ “Укртелеком”. – К.: 2003 р., 60 ст
 13. Алексеев Ю.А., Коновалов Г.В. Взаимодействие систем тактовой сетевой синхронизации России и Украины на сетях святы общего пользования // Вісник УБЕНТЗ. – 2002. - №1. – С. 70-73.
 14. Гаврилов Е.Н., Колтунов М.Н., Леготин Н.Н., Нормативная база для создания и аудита системы тактовой сетевой синхронизации // Вісник УБЕНТЗ. – 2003. - №1. – С. 101-108.
 15. Леготин Н.Н, Измерение параметров тактовой сетевой синхронизации на цифровой сети. Матеріали доповідей Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції 15-17 березня 2000 р., м. Київ.: Знання 2000 – С. 59-62.
 16. Савчук О.В., Гніденко І.І. Варіанти розгортання первинних пристроїв синхронізації на мережі Укртелекому. Матеріали доповідей Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції 15-17 березня 2000 р., м. Київ.: Знання 2000 – С. 53-56.
 17. Суворова Н.В., Сиволюцький А.І. Синхронізація цифрової мережі ВАТ “Укртелеком”. // Вісник УБЕНТЗ. – 2003. - №1. – С. 164-166.
 18. Гніденко І.І., Каленик І.Ю., Костик Б.Я. Функціональний підхід до оцінки надійності системи управління мережею синхронізації національного оператора. // Вісник УБЕНТЗ. – 2003. - №1. – С. 154-158.
 19. Концепція розвитку зв'язку України до 2010 року. – К.:Держкомзв'язок, 1999. – С. 24.
 20. ITU-T Recommendations G.803 (03/00). Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH) (Рекомендація ITU-T G.803 (03/00). Архітектура транспортної мережі на основі обладнання синхронної цифрової ієрархії (СЦІ).

21. . Бондаренко В.Г. Технічна експлуатація систем та мереж зв'язку. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком "Телекомунікації" з дисципліни ,ТЕСЗ,-К ДУІКТ 2012 р 847с
22. ITU-T Recommendations G.810 (08/96). Definitions and terminology for synchronization networks (Рекомендація ITU-T G.810 (08/96). Терміни та визначення з синхронізації мереж).
23. ITU-T Recommendations G.811 (07/97). Timing characteristics of primary reference clocks (Рекомендація ITU-T G.811 (07/97). Характеристики первинних пристроїв синхронізації).
24. ITU-T Recommendations G.812 (06/98). Timing requirements at the outputs of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronous networks (Рекомендація ITU-T G.812 (06/98). Вимоги до сигналів на виходах ведених пристроїв синхронізації, що є придатними для використання на вузлах синхронної мережі).
25. ITU-T Recommendations G.813 (08/96). Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC) (Рекомендація ITU-T G.813 (08/96). Характеристики ведених пристроїв синхронізації (SEC), що входять до складу обладнання СЦІ).
26. ITU-R Recommendations G.810 (1995). Use of GPS and ГЛОНАСС for High-Accuracy Time Transfer (Рекомендація ITU-R G.810 (1995). Використання GPS та ГЛОНАСС для розповсюдження сигналів часу високої точності).
27. Бондаренко В.Г., Охрущак Д.В., Бондаренко В.А. Опыт внедрения сетевой синхронизации на первичной сети ОАО «Укртелеком» // Зв'язок. – 2004. - №7 – С.18-22.
28. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: .Системи мультиплексування. За редакцією д-ра техн. наук, проф. В.К. Стеклова. -К: Техніка, 2005-312с.