



## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО СПОСОБУ РЕЗЕРВУВАННЯ PRC ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСУ ПЕРВИННИХ ПРИСТРОЇВ СИНХРОНІЗАЦІЇ

С. Отрох<sup>1</sup>, В. Ружинський<sup>2</sup>, К. Олєнєва<sup>3</sup>, Л. Беркман<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України “КПІ імені Ігоря Сікорського”,  
Берестейський проспект, 37, Київ, 03056, Україна

<sup>2</sup> Управління державного ринкового нагляду Національної комісії, що здійснює державне  
регулювання у сфері електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового  
зв'язку, Київ, Україна

<sup>3</sup> Національний технічний університет України “КПІ імені Ігоря Сікорського”,  
Берестейський проспект, 37, Київ, 03056, Україна

<sup>4</sup> Державний університет телекомунікацій, вул. Солом'янська, 7, Київ, 03110, Україна

Відповідальний автор: В. Г. Ружинський (e-mail: [rvgss71960@gmail.com](mailto:rvgss71960@gmail.com))

У сучасних мережах синхронізації первинні пристрої синхронізації PRC стали невід'ємною складовою, необхідною для забезпечення стабільної роботи та довготривалої точності опорних сигналів. Але їх висока вартість та недостатність використання для забезпечення лише однієї одиниці призводять до необхідності пошуку інших варіантів. Виробники стандартів частоти постачають PRS як виділене обладнання без резервування, тоді як у сучасних мережах синхронізації PRS доводиться резервувати для того, щоб зберегти належну якість опорних сигналів. У роботі розглянуто можливості модернізації комплексу первинних пристроїв мережі синхронізації на прикладі ПАТ “Укртелеком” і проаналізовано особливості використання алгоритму VesTime. Розглянуто основні переваги протоколу для забезпечення сталої та якісної роботи мережі синхронізації. Описано основний принцип роботи алгоритму VesTime як алгоритмічного способу резервування PRC у разі модернізації, основа алгоритму – метод “трикутного капелюха”, а в результаті за алгоритмом отримують результуючий сигнал з кращою характеристикою одного із трьох вузлів. Продемонстровано, як використання алгоритму дає можливість розділити на прості та добре контрольовані фрагменти з однаковою високою якістю опорних сигналів у складній мережі каналів синхронізації.

**Ключові слова:** мережа синхронізації; первинний опорний тактовий генератор; алгоритмічний спосіб резервування; цифрова система передачі.

### 1. Вступ

Первинні пристрої синхронізації PRC (Primary Reference Clock) – найважливіший елемент мережі синхронізації, який забезпечує довготривалу точність опорних сигналів і стабільність на рівні 1 10<sup>-11</sup>. Однак “класичні” PRC – це складні комплекси, до складу яких вводять первинні опорні джерела PRS (Primary Reference Source), системи резервування, розподілу опорних сигналів і спеціалізовані обчислювачі. Вартість “класичних” PRC на основі цезієвих і водневих PRS становить від півтора до декількох сотень тисяч доларів. Якщо на зорі розвитку мереж синхронізації вважали, що досить одного PRC на всю мережу і можна було б миритися з їх високою вартістю, то в сучасних мережах PRC стає масовим виробом. Тому виробники атомних стандартів частоти, бажаючи зберегти позиції на ринку обладнання синхронізації, поставляють PRS як виділене обладнання у вигляді стандарту частоти без резервування, як правило, забезпеченого стиками.

Проте вартість таких PRS доволі велика за порівняно невисокої надійності. Тому ефективність їх використання актуальна для тих операторів, які з тих чи інших причин не хочуть обмежуватися тільки використанням PRS на основі супутникових радіонавігаційних систем, незважаючи на їх порівняно невисоку вартість. У сучасних мережах синхронізації PRS доводиться резервувати не тільки через їх доволі невисоку надійності, але й для того, щоб зберегти необхідну якість опорних сигналів, попри значну ймовірність виходу з ладу каналів синхронізації.

Запропоновано підвищити ефективність використання PRS на основі спеціалізованого алгоритму BesTime.

## 2. Особливості використання алгоритму BesTime

Відповідно до Концепції [1] побудови мережі синхронізації України національний оператор первинної транспортної магістральної мережі, призначеної для транзиту трафіку ТМЗК, забезпечує комутаційні системи (МЦК, АМТС, ОПТС та місцеві АТС) тактовою синхронізацією, що є гарантією надання якісних послуг зв'язку. Ці функції, наприклад, виконує національний оператор "Укртелеком", керуючись власним стандартом.

З часу запровадження Концепції [1] та [3] технологічні процеси галузі істотно оновилися, а номенклатура послуг значно розширилася, вимоги до синхронізації не тільки зберегли актуальність, але й почали відігравати важливішу роль. У сучасних умовах синхронізація охоплює нові сфери застосування та необхідна для забезпечення якості послуг телефонії та передавання даних, зокрема інтернет-послуг та мультимедіа. Усі оператори та провайдери повинні отримувати сигнали синхронізації, стабільність яких нормована національним стандартом [4]. З економічних та організаційних міркувань регіональним операторам та провайдерам послуг доцільно підключатися до мережі синхронізації національного оператора "Укртелеком". Мережа синхронізації ПАТ "Укртелеком" побудована за класичним принципом, [5] в якому передбачено основний, резервний та запасний PRC, кожен із яких відповідає рекомендаціям MCE-T G.810, G.811. PRC складається, як мінімум, із двох первинних джерел PRS – цезієвого генератора та приймача GPS. Для підвищення надійності та відповідно до топології первинної мережі пристрої PRC розміщені навколо географічного центру України у вершинах трикутника. Завдяки системам передавання та таблицям пріоритетів вони утворюють трійку первинних пристроїв синхронізації, від яких опорні сигнали доставляють до кожного обласного центру щонайменше двома маршрутами. Далі через SSU (Synchronization Reference Source) їх передають споживачам.

У сучасних мережах синхронізації PRS доводиться резервувати не тільки через порівняно невисоку надійність, але й для доставки до вузлів мережі альтернативних опорних сигналів у разі виходу з ладу каналів синхронізації.

Традиційний спосіб резервування PRS полягає у тому, щоб використовувати основний PRS1 для синхронізації всієї мережі, а один або два інших (PRS2, PRS3) залишити в гарячому резерві відпрацьовувати свій ресурс, хоч вони не корисні для синхронізації мережі доти, доки PRS1 не вийде з ладу.

Недоліки традиційного способу резервування PRS очевидні, тому в сучасних мережах його не планують. Традиційні способи резервування PRS відображено на рис. 1, 2.

По-перше, обладнання використовують неефективно: резервні PRS просто зношуються на холостому ході, не приносячи користі до аварії PRS1. А якщо всі PRS придбані приблизно в той самий час, то з великою ймовірністю і відмовлятимуть одночасно.

По-друге, коли на всю мережу працює єдиний PRS, то мережа каналів для передавання опорних сигналів стає складною і погано керованою, а, отже, і витратною: це і витрати на обслуговування і конфлікти, що важко усуваються у разі аварій і розвитку мережі та втрати з-за погіршення якості послуг.

По-третє, через складність самої мережі та пов'язані з нею проблеми управління відразу після аварії виникають перехідні процеси, коли відбуваються перемикання багатьох резервних каналів, які самі спричиняють додаткові труднощі. Невідомо, наскільки швидко згасають такі процеси, і немає способів оцінювання їхньої збіжності.

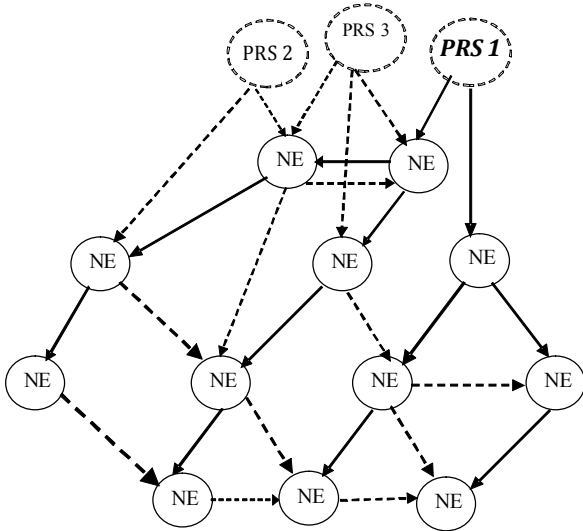


Рис. 1. Традиційний спосіб резервування PRS

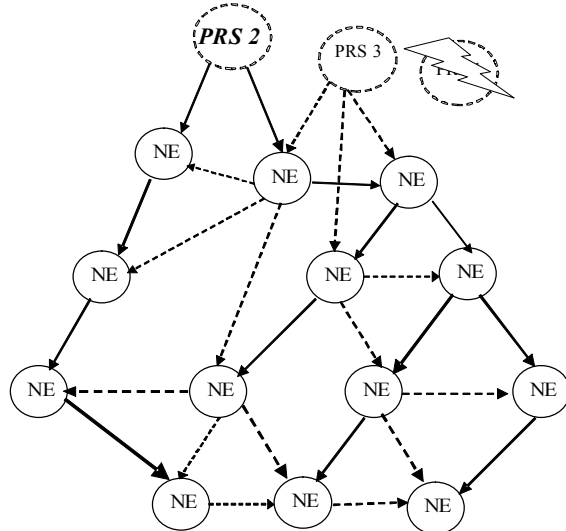


Рис. 2. Традиційний спосіб резервування у разі аварії PRS 1

Із середини 90-х років XX ст. на мережах зв'язку України різко збільшилася кількість цифрових комутаційних систем та систем передавання, мережі почали збільшувати та модернізувати. Вимоги користувачів до якості послуг зросли. Поява на ринку альтернативних операторів дала змогу абонентам ставитися до їх вибору вимогливіше, керуючись якістю послуг. Все це привело до того, що питання синхронізації набули особливого значення для галузі загалом та для кожного оператора окремо. Щоб підвищити ефективність використання устаткування синхронізації, провідні компанії-розробники вбудовують у нього спеціалізовані алгоритми. Найпотужніший з них – BesTime. На рис. 3 подано структуру алгоритмічного способу резервування PRC із використанням алгоритму BesTime.

У сучасних мережах синхронізації PRS доводиться резервувати не тільки через порівняно невисоку надійність, але й для доставки до вузлів мережі альтернативних опорних сигналів у разі виходу з ладу каналів синхронізації.

За алгоритмічного способу резервування PRS з використанням алгоритму BesTime вузли, в яких встановлені PRC1, PRC2 і PRC3, з'єднані прямими каналами синхронізації так, що в кожному доступні опорні сигнали від усіх трьох PRS. Вони одночасно обробляються в процесорах BesTime так, що на виході кожного стабільність опорного сигналу не гірша за стабільність найкращого із вхідних опорних сигналів. Отже, у місцях розміщення PRC є опорний сигнал найкращої для цієї мережі якості, забезпечений усіма активними PRS.

Основа алгоритму BesTime – метод “трикутного капелюха”, призначений для попарного звіряння не менше ніж трьох сигналів приблизно однієї якості, яку оцінюють показником стабільності, що називається дисперсією Аллана. Спрощене уявлення про алгоритм BesTime можна отримати, вважаючи, що в кожному з трьох вузлів є три опорні сигнали із невідомими дисперсіями Аллана:

- $\sigma_{21}$  – дисперсія опорного сигналу PRS1;
- $\sigma_{22}$  – дисперсія опорного сигналу PRS2;
- $\sigma_{23}$  – дисперсія опорного сигналу PRS3.

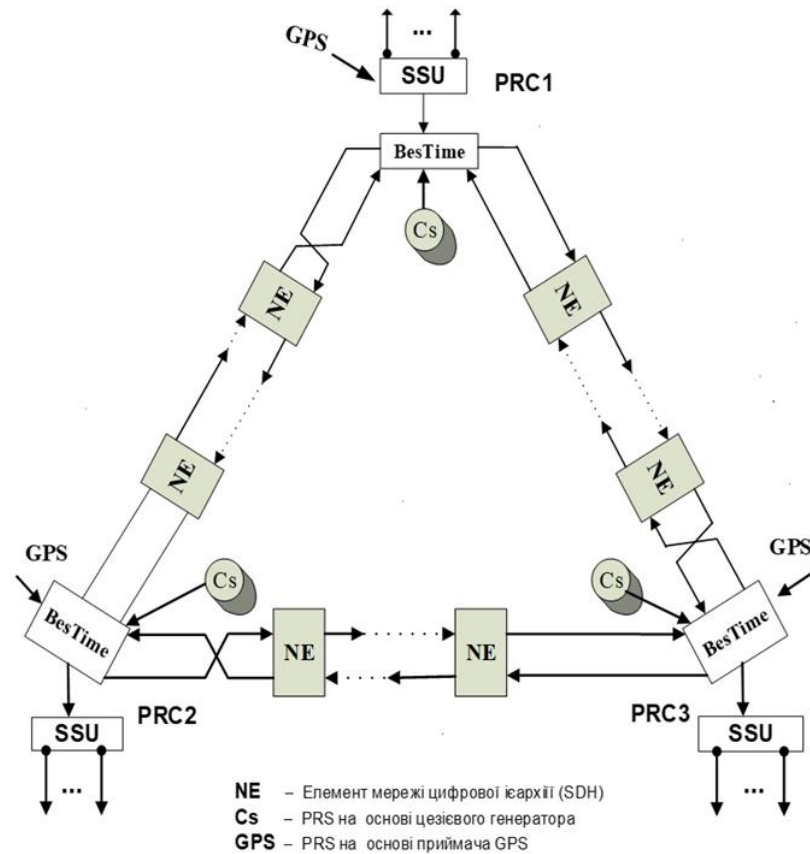


Рис. 3. Алгоритмічний спосіб резервування PRC із використанням алгоритму BesTime

Алгоритм BesTime виконує попарне звіряння, в результаті якого обчислює три “сумарні” дисперсії у вигляді системи трьох лінійних рівнянь із трьома невідомими (1):

$$\begin{cases} \sigma_{12}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2; \\ \sigma_{23}^2 = \sigma_2^2 + \sigma_3^2; \\ \sigma_{13}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_3^2 \end{cases} \quad (1)$$

Розв’язання цієї системи рівнянь має вигляд (2):

$$\begin{cases} \sigma_1^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2 - \sigma_{23}^2); \\ \sigma_2^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{13}^2); \\ \sigma_3^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{13}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{12}^2) \end{cases} \quad (2)$$

У результаті в кожному з трьох вузлів є три опорні сигнали з вичерпною характеристикою їх стабільності, далі на основі опрацювання за алгоритмом BesTime отримують результуючий сигнал з характеристикою найкращого з них.

Якщо одна із дисперсій  $\sigma_{21}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{23}$  виявиться більшою від інших на величину, що перевищує деяке порогове значення, це стане основою для видалення відповідного опорного сигналу з ансамблю. Тому якість результуючого сигналу залишатиметься на найвищому для цього випадку рівні. Наприклад: у випадку аварії PRS/GPS і PRS/Cs алгоритм BesTime продовжить усереднення опорних сигналів, що практично залишає без погіршення якості результуючий. Отже, із системи ре-

зервування вилучено один із найненадійніших елементів – виконавчий механізм перемикання резерву, а в момент відмови PRS у “розподіленому 3хPRC” практично не виникає перехідних процесів.

Зазначимо, що схема (рис. 1) разом із методом “трикутного капелюха” добре поєднується з топологією первинної мережі ПАТ “Укртелеком”, яка у центральній частині має вигляд трипроменевої “зірки”. Алгоритмічний спосіб резервування PRC вільний від основного недоліку традиційної схеми та забезпечує 100 % використання обладнання синхронізації. Кожен працездатний PRC не простоює у резерві, а робить реальний внесок у якісні показники мережі синхронізації. У разі аварії одного або двох PRS перехідні процеси не поширюються далі за алгоритм BesTime і на мережі відсутні. Всі PRC активні та рівноправні, тому немає потреби в системі пріоритетів. За умови, що кожен активний PRC обслуговує свій фрагмент мережі, другий недолік традиційної схеми пом’якшується. Перемикання на резервні канали та елементи мережі синхронізації відбуватиметься в меншій кількості вузлів, і хоча повністю проблема перехідних процесів не знімається, вони локальні. Продумане і раціональне розміщення трьох PRC на обслуговуваній території дає змогу розділити всю мережу синхронізації на компактні сегменти, якими легко керувати.

## Висновки

Алгоритмічний спосіб резервування PRS вільний від основного недоліку – він забезпечує максимально ефективно (стовідсоткове) використання обладнання синхронізації: кожен працездатний PRS не простоює у резерві, а дає реальний внесок у якісні показники мережі синхронізації.

У разі аварії одного із PRS всі перехідні процеси не поширюються далі алгоритму BesTime і на мережі відсутні. Всі PRS активні й рівноправні, тому немає необхідності в системі пріоритетів. Цей спосіб резервування PRS не містить найненадійнішого елемента системи – виконавчого механізму перемикання резерву, завдяки чому після аварії PRS не виникають перехідні процеси в мережі синхронізації і не погіршується якість обслуговування.

Отже, складну мережу каналів синхронізації можна розділити на прості й добре контрольовані фрагменти з однаково високою якістю опорних сигналів. Наслідки аварії одного та навіть двох PRS не вимагають авральних зусиль обслуговуючого персоналу – достатньо зняти несправний PRS та віддати його на ремонт.

## Список використаних джерел

- [1] Концепція побудови та структурна схема мережі синхронізації України. УНДІЗ–ДКЗІУ. Київ, 03. 12. 2001. Затверджено та введено в дію 2 вересня 2002 р.
- [2] Борщ В. І., Кориун С. І., Туманов Ю. Г., Чумак М. О. Сигналізація й синхронізація в телекомунікаційних системах. Київ: Наукова думка, 2004.
- [3] Технічні вимоги до мережі синхронізації транспортної мережі СЦІ ВАТ “Укртелеком”. СТП 001.012.02. Київ – 20 03. 12. 2001 р.
- [4] ДСТУ EN 300 462-3-1:2006. Мережі синхронізації цифрові. Загальні вимоги до мереж синхронізації. Частина 3-1. Контролювання джитера і блукань фази в мережах синхронізації (EN 300 462-3-1:1998, IDT).
- [5] ДСТУ EG 300 201 793:2007. Мережі синхронізації цифрові. Передавання та мультиплексування. Настанови щодо системного проектування мереж синхронізації. (ETSI EG 300 201 793:2000, IDT). О. В. Savchuk, V. A. Gaidamanchuk. The Realable Primary Reference Clock for the SDH Optical Telecom Network//POEO, Sept. 15–17, 2005 p., Yalta, Ukraine.

## PECULIARITIES OF USING THE ALGORITHMIC METHOD OF PRC RESERVATION IN THE MODERNIZATION OF THE COMPLEX OF PRIMARY SYNCHRONIZATION DEVICES

S. Otrikh<sup>1</sup>, V. Ruzhynskiy<sup>2</sup>, K. Olenieva<sup>3</sup>, L. Berkman<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
37, prosp. Beresteiskiy, Kyiv, 03056, Ukraine*

<sup>2</sup> *Department of State Market Supervision of the National Commission, which carries out state regulation in  
the field of electronic communications, radio frequency spectrum and the provision of postal services, Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup> *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
37, Prosp. Beresteiskiy, Kyiv, 03056, Ukraine.*

<sup>4</sup> *State University of Telecommunications, 7, Solomyanska str., Kyiv, 03110, Ukraine*

In modern synchronization networks, PRC primary synchronization devices have become an integral component necessary to ensure stable operation and long-term accuracy of reference signals. But their high cost and insufficient use to provide only one unit lead to the need to find other options. Frequency standard manufacturers supply PRS as dedicated hardware without redundancy, whereas in modern synchronization networks PRS must be redundant in order to maintain the required quality of the reference signals. The paper considers the possibilities of modernization of the complex of primary devices of the synchronization network using the example of PJSC "Ukrtelecom" and analyzes the features of using the BesTime algorithm. The main advantages of the protocol in ensuring stable and high-quality operation of the synchronization network are considered. The basic principle of operation of the BesTime algorithm is described, as an algorithmic method of PRC reservation during modernization, the basis of the algorithm is the "triangular hat" method, and as a result, the resulting signal with the best characteristics of one of the three nodes is obtained according to the algorithm. It is demonstrated how the use of the algorithm makes it possible to divide a complex network of synchronization channels into simple and well-controlled fragments with equally high quality reference signals.

**Key words:** *synchronization network; primary reference clock; algorithmic method of redundancy; digital transmission system.*