

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО
ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

ЄЛІССАВІ КАМАЛ КХАЛІФА А

УДК 621.394/396

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТАЛОСТІ МЕРЕЖЕВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ В
СУЧАСНІЙ МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ МАКРОМЕРЕЖІ**

Спеціальність 05.13.06 — «Інформаційні технології»

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ХЛАПОНІН Юрій Іванович,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Міністерство освіти і науки України,
завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
ГАВРИЛКО Євген Володимирович,
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
Міністерство освіти і науки України,
професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України

ПАВЛЕНКО Петро Миколайович,
Національний авіаційний університет, Міністерство освіти і науки України,
професор кафедри організації авіаційних перевезень

Захист дисертації відбудеться "9" грудня 2021 р. о 13⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.255.01 в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України за адресою: 03186, м. Київ, бульвар Чоколівський, 13, ауд. 601.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України за адресою: 03186, м. Київ, бульвар Чоколівський, 13

Автореферат розісланий « 08 » листопада 2021 р.

Учений секретар СВР Д 26.255.01
к.т.н., ст. дослідник



О.Г.Лебідь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку мереж зв'язку спостерігається активний еволюційний розвиток технологій, збільшення використання телекомунікаційних засобів і систем, а також зростання числа компаній, що займаються проектуванням й експлуатацією мереж телекомунікацій.

Активний еволюційний розвиток технологій веде до створення мультисервісних макромереж, метою яких буде вирішення принципово нових задач. Вже не рідкість, коли в одного оператора кількість вузлів, які потребують забезпечення сигналом синхронізації, досягає більш ніж 1000, а топологічна структура мережі при цьому, набуває вигляду решітчастої. Причиною такого ускладнення топологічної структури є розширення функціональності обладнання. Тому, для ефективного функціонування мультисервісних макромереж стає необхідним адекватне ускладнення топологічної структури мережевої синхронізації.

Необхідність забезпечення сигналами точного часу вкрай важлива, а саме - для забезпечення технологічності функціонування рівня послуг інформаційних технологій. Крім того, для узгодженої роботи білінгової системи з рівнем управління викликами також необхідно звірення шкал часу для коректного формування файлів CDR білінгу на вузлах мережі.

Дослідженню теорії побудови перспективних гарантоздатних мультисервісних макромереж та оцінці якості функціонування мережевої синхронізації присвячено роботи Vregni S., Lyons R.G., Kootsookos P., Зайцева Г.Ф., Шахгельдян В.В., Стеклова В.К., Беркман Л.Н., Смірнова В.С., Гаврилко Є.В., Копійки О.В., Хлапоніна Ю.І., Федорової Н.В., Козелкова С. В., Туровського О.Л. та інших.

Тому одним з головних завдань є побудова мережевої синхронізації, надійність якої має не поступатися надійності мережі передачі даних. Оскільки в мережах передачі даних існують механізми захисту трафіку від можливих аварій, то мережа синхронізації має бути спроектована з врахуванням можливих змін в маршрутах передачі даних. Для виконання такої вимоги в мережах синхронізації постає необхідність побудови оптимального "логічного" дерева синхронізації. Якість функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі залежить від якості планування дерева синхронізації.

Розробка та застосування механізму динамічної адаптації "логічного" дерева синхронізації суттєво сприяє підвищенню сталості мережевої синхронізації. Цей механізм дозволяє залежно від зміни ситуації на мережі формувати оптимальне для даної ситуації дерево синхронізації.

Застосування даного механізму є найбільш ефективною при використанні мережевої синхронізації замкнутої топології. Проте, наявність замкнутих топологічних структур пов'язана з можливою появою петель синхронізації, наприклад, на ділянках синхронної цифрової ієрархії в мультисервісній макромережі. Виникнення петель синхронізації призводить до ряду проблем, зокрема до погіршення характеристик сигналу синхронізації за рахунок присутнього позитивного зворотного зв'язку, появи в мережі короткочасних або тривалих збоїв, іноді з випадковим періодом тривалості, причину або первинне джерело яких дуже важко виявити.

Тому існує необхідність дослідження причин і умов появи петель синхронізації в замкнених фрагментах складних мереж, а також методів, що дозволяють визначати і запобігати виникненню петель на етапах проектування і експлуатації.

Для створення механізму динамічної адаптації дерева синхронізації необхідно доопрацювати існуючі алгоритми функціонування мережевих вузлів й протоколів взаємодії між ними.

Для прийняття рішень за оцінкою якості функціонування мережевої синхронізації необхідне знаходження залежності сталості функціонування мережевої синхронізації від сукупності параметрів таких, як інтенсивність потоку відмов і відновлень, топології мережі, ефективності планування, алгоритмів функціонування мережевих елементів. Таким чином, необхідна розробка методів аналізу функціонала, для якого в якості незалежних функцій використовуються функціональні залежності між параметрами, наведеними вище.

Дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню **науково-прикладної задачі** підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації шляхом розробки та удосконалення механізму динамічної адаптації дерева синхронізації, що дозволяє забезпечити працездатність мережевої синхронізації при збільшенні зв'язності мережі і значному збільшенні кількості аварійних ситуацій в мультисервісній макромережі, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках Закону України “Про телекомунікації”, діяльності Українського науково-дослідного інституту зв'язку, річних планів наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності Державного університету телекомунікацій на 2016 та 2018 роки. Дослідження проведено в межах науково-дослідної роботи (№ 0114U000757) “Система управління телекомунікаційною мережею”.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення сталості мережевої синхронізації, що дозволяє забезпечити працездатність мережевої синхронізації при збільшенні зв'язності мережі і значному збільшенні кількості аварійних ситуацій в мультисервісній макромережі.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

1. Проведення аналізу працездатності існуючих топологічних структур з врахуванням дії на них сумарного потоку відмов і відновлень.
2. Розробка методу визначення сталості функціонування мережевої синхронізації з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень, топології мережі й алгоритмів функціонування мережевих елементів.
3. Удосконалено метод аналізу працездатності фрагмента мережі синхронізації довільної топології.
4. Удосконалення методу динамічної адаптації дерева синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії.
5. Удосконалення методу переконфігурування мережевої синхронізації в мережах IP/MPLS.
6. Розробка системи автоматизованого проектування, що дозволяє аналізувати існуючі й планувати нову мережеву синхронізацію, з використанням запропонованих топологічних структур і механізму формування динамічної адаптації дерева синхронізації.

Об'єктом дослідження є процес підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі.

Предметом дослідження є методи функціонування й протоколи взаємодії мережевих елементів синхронізації, а також типові топологічні структури мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі.

Основні методи дослідження. Вирішення поставлених завдань здійснювалося за допомогою математичного аналізу із застосуванням теорії графів, методу аналізу марковських процесів з дискретними станами і безперервним часом; методу аналізу структурної надійності; методу чисельного вирішення диференціальних рівнянь; методу об'єднання простих ланцюгів з врахуванням ефекту поглинання; методи теорії кінцевих автоматів і методів лінійного програмування.

Підтвердження правильності вирішення поставлених завдань було виконане за допомогою методів прямого машинного моделювання основних положень і висновків.

Для всіх розроблених алгоритмів, а також імітаційного моделювання фрагментів мережі синхронізації було використано пакет Simulink програми Matlab.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. **Вперше розроблено метод** визначення сталості функціонування мережевої синхронізації з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень, топології мережі й алгоритмів функціонування мережевих елементів, який на відміну від існуючих дозволить підвищити сталість мережевої синхронізації, завдяки зменшенню ймовірності втрат пакетів в мультисервісній макромережі;

2. **Удосконалено метод** аналізу працездатності фрагмента мережі синхронізації довільної топології і протоколів взаємодії між мережевими елементами для формування дерева синхронізації, що дозволяє запобігати появі часових петель в замкнених топологічних структурах шляхом зміни пріоритетів і введення механізму програмованої затримки в алгоритм формування повідомлень про статус синхронізації;

1. **Удосконалено метод** динамічної адаптації дерева синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії, реалізація якого, на відміну від існуючих, можлива на основі механізму динамічного переконфігурування пріоритетів, що привласнюються вхідним інтерфейсам мережевих елементів синхронізації. Цей механізм передбачає набір правил, за якими здійснюється переконфігурування дерева синхронізації при виникненні аварійних ситуацій або ситуацій, що призводять до зміни значень якості сигналу синхронізації.

2. **Удосконалено метод** переконфігурування мережевої синхронізації в мережах IP/MPLS, який на відміну від відомих заключається у врахуванні сталості та живучості мережі синхронізації, він відхиляє канали без достатніх ресурсів, які не відповідають обмеженням або сформованій політиці.

Достовірність отриманих результатів досягається завдяки коректному використанню методів досліджень і математичного апарату. Адекватність вибраних моделей підтверджується узгодженістю між результатами аналітичних досліджень, імітаційного моделювання, а відповідність висновків витікає зі змісту роботи.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблений метод визначення сталості функціонування мережевої синхронізації з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень, топології мережі дозволить підвищити сталість мережевої синхронізації на 15%, завдяки зменшенню ймовірності втрат пакетів в мультисервісній макромережі.

2. Удосконалений метод аналізу працездатності фрагмента мережі синхронізації довільної топології і протоколів взаємодії між мережевими елементами для формування дерева синхронізації дозволяє запобігти появі часових петель в замкнутих топологічних структурах мультисервісної макромережі.

3. Встановлено, що використання методу динамічної адаптації дерева синхронізації на основі замкнутої топології є доцільнішим ніж використання існуючих алгоритмів на даній топології та дозволить на 25% збільшити надійність та сталість мережі при виникненні аварійних ситуацій під час надання послуг.

4. Удосконалений метод переконфігурування мережевої синхронізації в мережах IP/MPLS дозволить збільшити ефективність планування та використання алгоритмів функціонування мережевих елементів з урахуванням імовірнісних характеристик подій, що відбуваються в мережі синхронізації на 10-13%.

5. Якість функціонування фрагмента мережі синхронізації, в якому мережні елементи функціонують за алгоритмом з динамічною адаптацією дерева синхронізації може досягати якості функціонування фрагмента з ідеальним алгоритмом, тобто може бути досягнута теоретична межа якості функціонування.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у Державному підприємстві «Науковий центр точного машинобудування» Державного космічного агентства України (акт впровадження № 013 від 4.04.2018 р.), ТОВ "Світ-ІТ", (акт впровадження № 1211-19 від 11.12.2019 р.), у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження від 25.09.2020 р. № 17).

Практичні результати підтверджуються актами впровадження, які приведені в Додатках до дисертаційної роботи.

Особистий вклад автора. Результати, що становлять основний зміст роботи, отримані автором самостійно. Основні наукові результати дисертації отримані здобувачем особисто, опубліковано в [1] - визначено залежність надійності типових топологічних фрагментів мережевої синхронізації від сумарного потоку відмов і відновлень та обраної топології; [2] - визначено узагальнений функціонал надійності та сталості мережевої синхронізації, що визначає залежність надійності мережевої синхронізації від функціональних залежностей між інтенсивностями потоків відмов і відновлень, топології мережі, ефективності планування, алгоритмів функціонування мережевих елементів; [3] - отримано значення теоретичної межі для якості функціонування типових фрагментів мережевої синхронізації; [4, 5] - розроблено удосконалений метод формування динамічної адаптації дерева синхронізації, на основі замкнутої топології; [6] - розроблено алгоритм та метод функціонування мережевого елемента, що дозволяє запобігати появі петель в замкнутих топологічних структурах шляхом зміни пріоритетів на основі подій, що відбуваються в мережі синхронізації.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень представлені на наукових і науково-технічних конференціях і семінарах: Регіональна міжнародна науково-технічна конференція МСЕ для країн Європи і СНД «Перспективы предоставления услуг на основе сетей пост-NGN, 4G и 5G. Организационные и технические решения по их построению и защите», 7-9 червня 2017 р. (м. Київ, Україна), X Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації», 12-13 квітня 2018 р. (м. Київ, Україна), Регіональний семінар Міжнародного союзу електрозв'язку для стран Європи та СНД «Цифровое будущее на основе 4G/5G», 14-16 травня 2018 р. (м. Київ, Україна), VI Міжнародна науково-технічна конференція студентства та молоді «Світ телекомунікації та інформатизації», 17 травня 2018 р. (м. Київ, Україна), 6-а Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрями захисту інформації», 2-6 вересня 2020 р. (м. Одеса, Україна).

Публікації. Основні положення та зміст дисертації відображено в 19 наукових публікаціях: 11 наукових статтях (3 з яких одноосібні [3, 12,13]), одна опублікована у виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus [16], одна у зарубіжному виданні [14], одна у виданні держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку [18] та у фахових виданнях ДАК України [2,10,11,15,17] та в 8 тезах і матеріалах доповідей на конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 220 сторінок друкарського тексту, із них 8 сторінок анотації, 212 сторінок основного тексту у тому числі містить 67 рисунків та 4 таблиці, список використаних джерел із 101 найменування на 10 сторінках та 12 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформувано мету, основні завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення основних результатів, наведено відомості про їхню апробацію та реалізацію.

В першому розділі розглянуто загальні властивості, основні принципи побудови й функціонування мережевої синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії та в мережах пакетних технологій IP/MPLS.

Проведено аналіз існуючих типів мережних елементів мережевої синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії та в мережах пакетної технології IP/MPLS. Для формування сигналів синхронізації в мережі тактової синхронізації використовують первинні джерела та пристрої сигналів синхронізації.

У якості джерел сигналів синхронізації використовують цезієві або водневі генератори, а також обладнання на базі приймачів навігаційних систем ГЛОНАСС та GPS (Global Positioning System). Комплекс, утворений складанням декількох первинних джерел, являє собою первинний пристрій синхронізації.

Для підтримки функціонування мережі або відновлення спотворених сигналів синхронізації застосовуються пристрої відновлення та підтримки синхронізації.

За якістю сигналів синхронізації, що формуються в пристроях та функціям, які виконуються на розподільчих мережах синхронізації розрізняють такі мережеві

пристрої синхронізації (МПС):

- первинний пристрій синхронізації (ППС);
- пристрій синхронізації транзитного вузла (ПС-Т);
- пристрій синхронізації місцевого вузла (ПС-М);
- пристрій синхронізації обладнання СЦІ (ПС-СЦІ);
- пристрій синхронізації кінцевого обладнання.

Первинний пристрій синхронізації (ППС). Схема примусової синхронізації припускає наявність ППС, від сигналів якого повинні синхронізуватися інші МПС, які входять до мережі синхронізації. До складу ППС входить генератор. Для формування опорного сигналу синхронізації ППС як правило використовується трубка цезієвого випромінювання, тому що при використанні цієї трубки не буде систематичного впливу подібного старінню, який може призвести до відхилення частоти.

Вторинні пристрої синхронізації (ВПС). Для внутрішньовузлового розподілу сигналів синхронізації рекомендуються пристрої синхронізації ВПС, що призначені для захоплення зовнішнього опорного сигналу синхронізації, який надходить із іншого вузла, та синхронізації усіх МПС даного вузла. Тому ВПС повинен бути найбільш стійким пристроєм синхронізації із самою вузькою шириною смуги захоплення частот (тобто пристроєм з найкращою фільтрацією вхідних фазових шумів), який має найкращі на цьому вузлі характеристики в режимі утримання частоти. Рівень якості ВПС визначається його ієрархічним рівнем в мережі синхронізації. Розрізняють вторинні ПС транзитного вузла та місцевого вузла.

Пристрій синхронізації обладнання СЦІ (ПС-СЦІ). Міжвузловий розподіл сигналів синхронізації визначає порядок надання сигналів синхронізації на всі МПС, які включені в мережу синхронізації. Для міжвузлового розподілу сигналів синхронізації рекомендуються МПС, що вбудовані в обладнання СЦІ та називаються пристроями синхронізації обладнанням СЦІ – ПС-СЦІ. Проте ПС-СЦІ, що входять до складу обладнання СЦІ мають низький рівень ієрархії. Для запобігання надходження опорного сигналу синхронізації від ПС-СЦІ на МПС більш високого рівня ієрархії, разом з сигналами STM-N передаються повідомлення ПСС. Повідомлення ПСС визначають рівень ієрархії МПС, який використовується для синхронізації, тобто рівень якості QL джерела синхронізації.

При плануванні мережевої синхронізації необхідно враховувати: – відмінність функціональних параметрів мережних елементів синхронізації різних виробників або елементу мережі синхронізації одного виробника, але різних поколінь; – виконання або не виконання елементами мережі алгоритмів прийому, обробки та видавання повідомлень про статус синхронізації; – реакції елементів мережі на зникнення сигналу синхронізації, його відновлення, а також перехідні процеси, що виникають в мережі. Формування необхідної кількості сигналів синхронізації виконується приладами розгалуження сигналів синхронізації.

За результатами проведеного аналізу і виходячи з мети дисертаційної роботи уточнено та сформульовано наукову задачу дослідження, яка полягає у необхідності розробки методів підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі за рахунок створення алгоритму динамічної адаптації дерева синхронізації для різних станів макромережі.

На рис. 1 наведено загальну структурно-логічну схему дисертаційного дослідження “Методи підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі”.

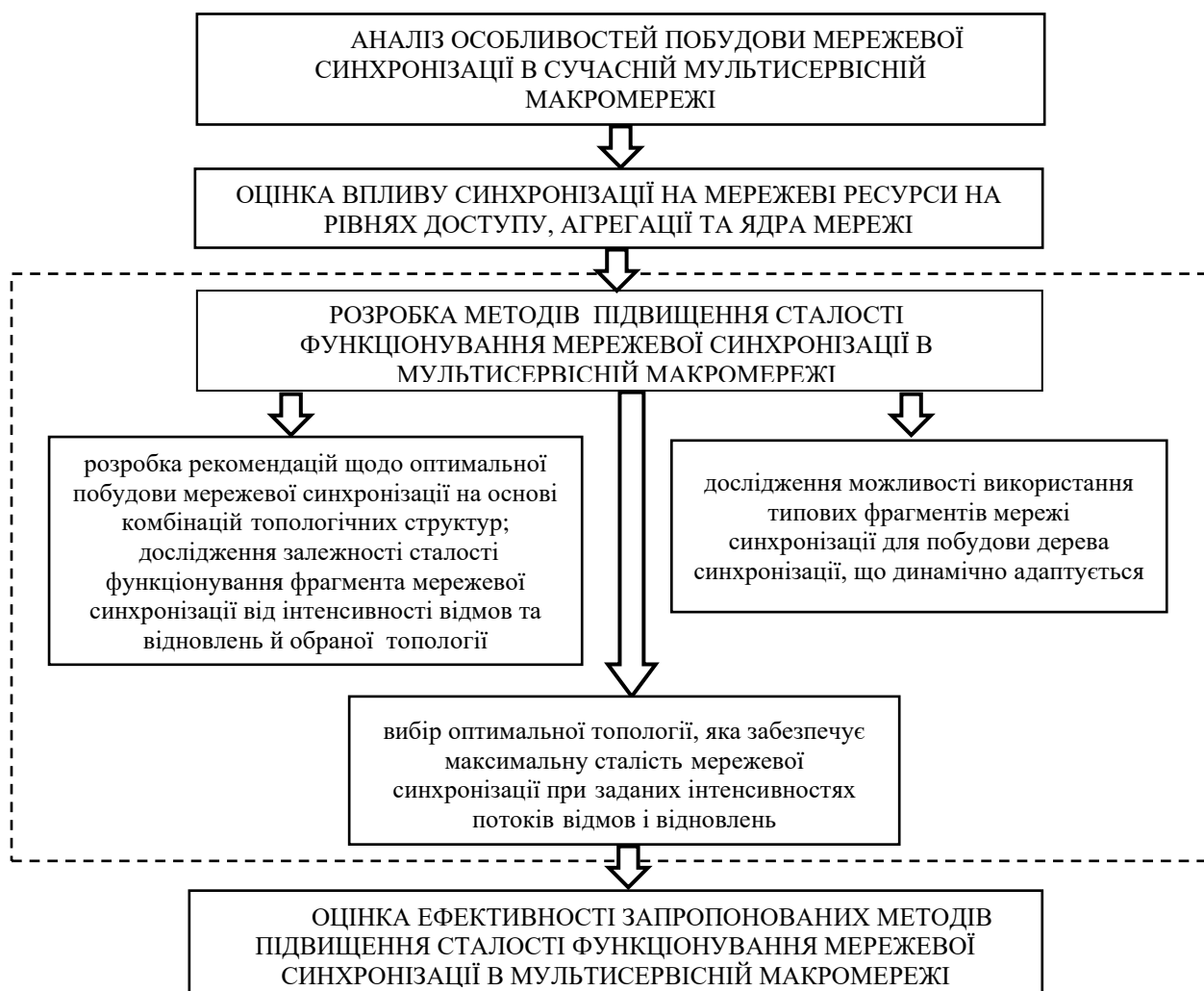


Рис. 1 Загальна структурно-логічна схема дисертаційного дослідження “Методи підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі”

Другий розділ дисертації присвячено оцінці впливу сигналів синхронізації на навантаження мережі на ієрархічних рівнях доступу, розподілення та ядра мультисервісної макромережі. Розглянуто основні принципи реалізації мережі синхронізації в пакетних мережах IP/MPLS та методи синхронізації. Розглянуто трирівневу ієрархічну структуру мережі передачі даних. Запропоновано рекомендації щодо планування мережі синхронізації в пакетних мережах IP / MPLS. Проведено вимірювання параметрів стабільності сигналів синхронізації в пакетних мережах.

Синхронізація транспортних IP/MPLS-мереж в мобільному зв'язку є необхідною умовою при забезпеченні покриття й якості послуг, що надаються. На рис. 2 наведено трирівневу ієрархічну структуру мережі передачі даних IP/MPLS.

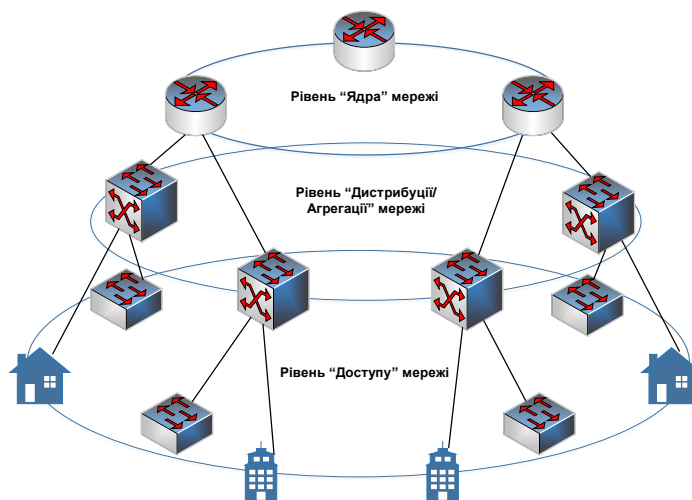


Рис. 2 Тривірнева ієрархічна структура мережі передачі даних IP/MPLS

На сьогоднішній день на ринку телекомунікацій достатньо нових ефективних методів для забезпечення синхронізації в мережах IP / MPLS.

Протоколи звірення часу NTP (Network Time Protocol) і PTP (Precision Time Protocol), а також технологія Sync-E (Synchronous Ethernet), де кожен з варіантів синхронізації пакетної мережі має як переваги, так і недоліки. Тому в даній дисертаційній роботі розглядається комбіноване використання даних варіантів синхронізації мережі з комутацією пакетів на різних ієрархічних рівнях: ядра, агрегації і доступу.

В цілому на рівні ядра мережі найбільш оптимальною є саме реалізація синхронізації на технології Sync-E. Це обумовлено порівняно невеликими витратами на заміну / оновлення обладнання тільки на магістральному рівні та забезпеченням гарантовано якісної передачі сигналу синхронізації на великі відстані. Розгортання мереж синхронізації на рівні магістрального синхронного Ethernet приносить користь операторам мереж тим, що розподіл тактовою частоти відбувається без впливу варіацій затримки пакетів. Завдяки характеристикам пристроїв синхронізації можна, загалом, керуватися існуючими правилами планування і системного проектування, що в значній мірі спрощує поєднання техніки синхронного Ethernet зі стандартною мережею синхронізації СЦІ.

Протокол NTP може бути використаний замість PTP для синхронізації, наприклад базових станцій мобільного зв'язку, підключених по IP/MPLS - мережі.

Протокол PTP є на сьогоднішній день найбільш оптимальним методом синхронізації в транспортному оточенні IP / MPLS. Протокол PTP забезпечує як частотну, так і тимчасову синхронізацію при високій якості параметрів стабільності. При цьому стабільність розповсюджуваного сигналу залежить від рівня завантаження мережі, а також від відстані між вузлами мережі і кількості переприйомів, - що слід враховувати на етапі планування такої мережі.

Третій розділ дисертації присвячений розробці методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі, які полягають в: - визначенні сукупності параметрів, що впливають на сталість функціонування мережевої синхронізації; - розробці рекомендацій щодо

оптимальної побудови мережевої синхронізації на основі комбінацій топологічних структур, які складаються з досліджуваних фрагментів; - дослідженні залежності сталості функціонування фрагмента мережевої синхронізації від інтенсивності відмов, інтенсивності відновлень й обраної топології; - в виборі оптимальної топології, яка забезпечує максимальну сталість мережевої синхронізації при заданих інтенсивностях потоків відмов і відновлень; - в дослідженні можливості використання типових фрагментів мережі синхронізації для побудови дерева синхронізації, що динамічно адаптується.

Припустимо, що працездатність фрагмента мережі залежить тільки від топології, а реалізація алгоритму функціонування, способу присвоєння пріоритетів вхідним інтерфейсам, встановлення рівнів якості сигналів синхронізації є ідеальними. Рішення задачі за даної умови дає можливість отримання значення теоретичної межі для якості функціонування даного фрагмента. Отримане значення межі є максимальним з точки зору якості функціонування мережі. Цю межу далі називатимемо верхньою і саме до неї наближується функціонал працездатності фрагмента мережі.

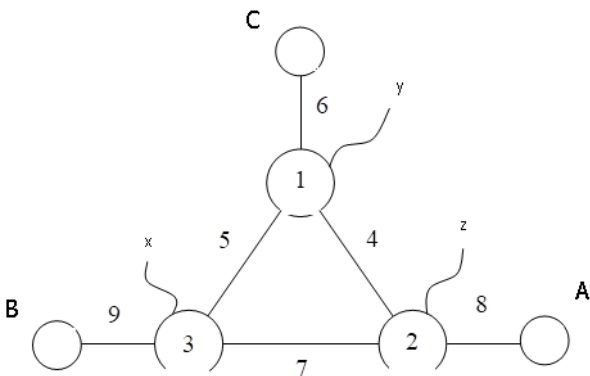


Рис. 3 Трикутний фрагмент мережі

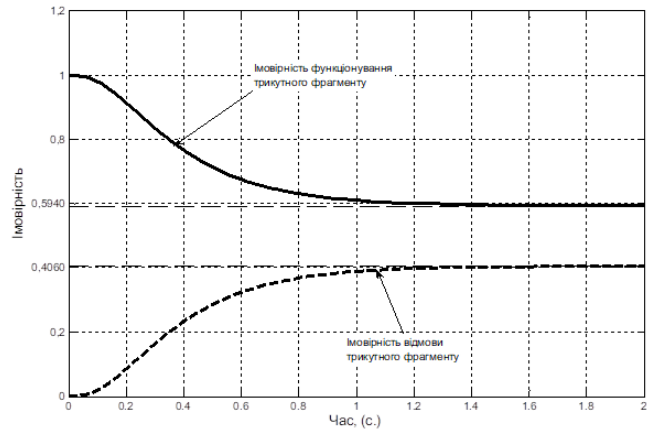


Рис. 4 Функціональна залежність імовірності функціонування

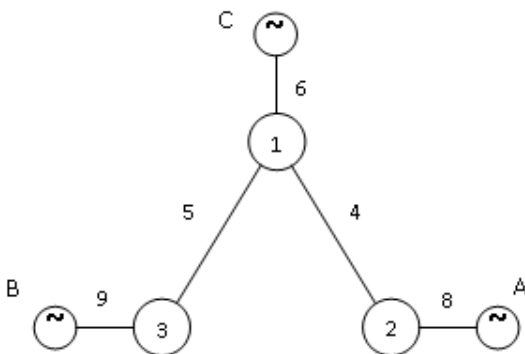


Рис. 5 Деревовидний фрагмент мережі

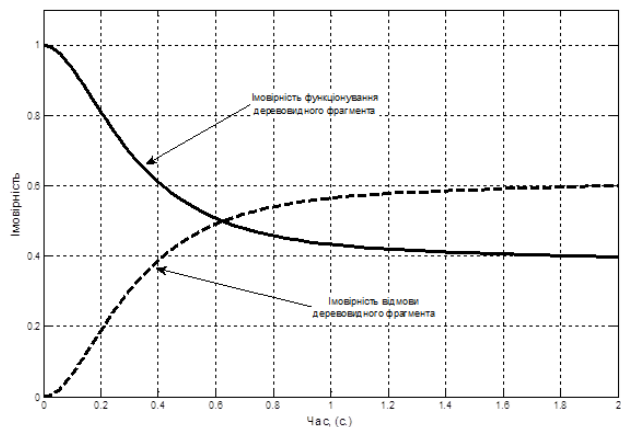


Рис. 6 Функціональна залежність імовірності функціонування

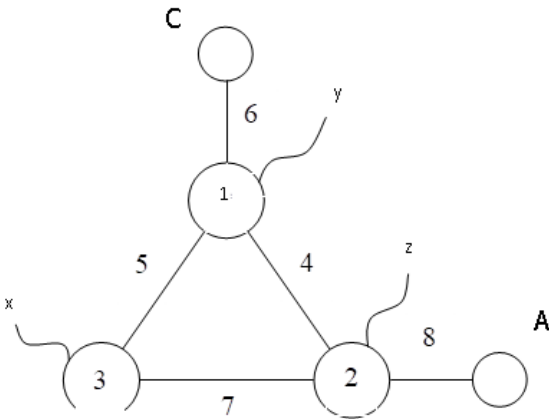


Рис. 7 Кільцевий фрагмент мережі

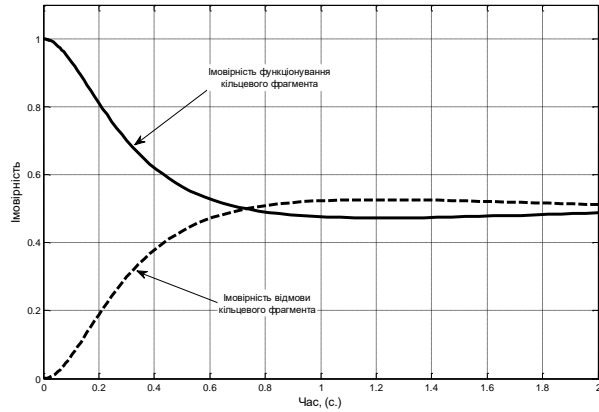


Рис. 8 Функціональна залежність імовірності функціонування

В даному розділі розроблено узагальнений метод аналізу працездатності фрагменту мережі синхронізації довільної топології.

Узагальнений метод наведено у вигляді послідовності етапів.

Етап 1. Представимо досліджуваний фрагмент у вигляді графу, в якому вершини графа відповідають мережним елементам, а ребра графа є з'єднаннями між мережними елементами. Проведемо процедуру нумерації графу.

Етап 2. Визначимо повну групу несумісних подій, що визначають всі можливі стани довільного фрагмента мережі.

Етап 3. Визначимо функції інтенсивностей потоків відмов і потоків відновлень виду $\lambda_{ij}(t)$ і $\mu_{ji}(t)$, які переводять досліджуваний фрагмент з одного можливого стану в інший (наприклад, із стану S_i в S_j).

Етап 4. Використовуючи групу несумісних подій, побудуємо розмічений граф станів фрагмента мережі.

Етап 5. На основі розміченого графа складемо систему диференціальних рівнянь, використовуючи таке правило: похідна імовірності будь-якого стану дорівнює сумі всіх потоків імовірностей, що переводять систему в цей стан, мінус сума всіх потоків імовірностей, що виводять систему з цього стану, а саме:

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n p_j(t) \cdot \mu_{ji}(t) - p_i \cdot \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}(t) \quad (1)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n).$$

Етап 6. Визначення значення імовірності перебування мережі в одному з можливих станів шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Етап 7. Визначення умови, що призводить до втрати працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації з врахуванням таких параметрів і критеріїв, що визначають поняття "працездатність":

- алгоритм функціонування вузла синхронізації;
- спосіб встановлення пріоритетів вхідним інтерфейсам (портам) синхронізації;
- встановлення рівнів якості (quality level) сигналів синхронізації;
- топологія фрагмента мережі.

Етап 8. Розбиття всіх несумісних подій на дві групи. Перша група подій включає ті події, які не здійснюють істотного впливу на якість функціонування мережі. Друга група подій включає ті події, кожна з яких призводить до втрати працездатності мережі.

Етап 9. Визначення імовірності знаходження фрагмента мережі синхронізації в працездатному або непрацездатному стані з врахуванням розподілу станів за групами.

$$P(M_{Tp}) = \sum_k p_k + \sum_m p_m, \quad (2)$$

де k – індекс для станів, що знаходяться в групі, відповідній працездатності фрагмента;

m – індекс для станів, що знаходяться в групі, відповідній непрацездатності фрагмента;

$n = k+m$ – кількість незалежних станів розміченого графа системи.

Четвертий розділ дисертації присвячений оцінці ефективності запропонованих методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі.

Шляхом математичного моделювання була проведена оцінка введення методу динамічної адаптації дерева синхронізації при плануванні мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі. Визначено метод функціонування мережевого елемента синхронізації, що дозволяє створювати адаптивне дерево синхронізації шляхом перерозподілу пріоритетів вхідним інтерфейсам мережевих елементів, топологія яких включає вузли, ранг яких більше двох.

Для вирішення завдання щодо створення середовища автоматизованого планування мережевої синхронізації розроблено модель мережевого елемента з алгоритмом динамічної зміни дерева синхронізації. Основною метою створення даного середовища планування є автоматизація процесу проектування складних мереж синхронізації з врахуванням різних типів обладнання, яке використовується на мультисервісній макромережі.

Удосконалення методу динамічної адаптації дерева синхронізації.

Крок 1. Ініціалізація значень пріоритетів для всіх вхідних портів мережевого елемента (формування первинного стану вузла). Перехід до Кроку 2.

Крок 2. Аналіз стану вхідного інтерфейсу, від якого здійснюється синхронізація мережевого елемента. Якщо стан вхідного інтерфейсу відповідає забороні на синхронізацію мережевого елемента від даного інтерфейсу ("dis"), то змінній, відповідній номеру інтерфейсу, привласнюється значення "0", і слідує перехід до Кроку 5. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 3.

Крок 3. Аналіз стану вхідного інтерфейсу, від якого здійснюється синхронізація мережевого елемента. Якщо стан вхідного інтерфейсу відповідає виходу з режиму синхронізму ("LO" приймає значення "ON"), то змінній, відповідній номеру інтерфейсу привласнюється значення "0", і слідує перехід до Кроку 5. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 4.

Крок 4. Аналіз стану вхідного інтерфейсу, від якого здійснювалася синхронізація. Якщо значення байту про статус синхронізації (SSM) вхідного інтерфейсу нижче (за абсолютною величиною), ніж значення "Не використовувати для синхронізації" (DNU), що відповідає низькій якості сигналу синхронізації або його відсутності, то слідує перехід до Кроку 5. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 6.

Крок 5. Ініціалізація змінної номера інтерфейсу ("N") шляхом привласнення їй значення "1".

Крок 6. Аналіз стану вхідного інтерфейсу під номером "N". Якщо стан вхідного інтерфейсу відповідає забороні на синхронізацію мережевого елемента від даного інтерфейсу ("dis"), то слідує перехід до Кроку 13. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 7.

Крок 7. Аналіз стану вхідного інтерфейсу під номером "N". Якщо стан вхідного інтерфейсу відповідає виходу з режиму синхронізму ("LO" приймає значення "ON"), то слідує перехід до Кроку 13. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 8.

Крок 8. Аналіз стану вхідного інтерфейсу, від якого здійснювалася синхронізація. Якщо значення байту про статус синхронізації (SSM) вхідного інтерфейсу нижче (за абсолютною величиною), ніж значення "Не використовувати для синхронізації" (DNU), що відповідає низькій якості сигналу синхронізації або його відсутності, то слідує перехід до Кроку 13. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 9.

Крок 9. Порівняння значень байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс під номером "N" із значенням байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс, від якого здійснюється синхронізація мережевого елемента. Якщо значення байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс під номером "N" нижче, ніж значення байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс, від якого здійснюється синхронізація мережного елемента, то слідує перехід до Кроку 13. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 10.

Крок 10. Порівняння значень байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс під номером "N" із значенням байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс, від якого здійснюється синхронізація мережевого елемента. Якщо значення байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс під номером "N" вище, ніж значення байту SSM, привласненого сигналу синхронізації, що поступає на вхідний інтерфейс, від якого здійснюється синхронізація мережевого елемента, то слідує перехід до Кроку 12. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 11.

Крок 11. Порівняння значення первинного пріоритету вхідного інтерфейсу під номером "N" з первинним пріоритетом вхідного інтерфейсу, від якого здійснюється синхронізація мережевого елемента. Якщо пріоритет вхідного інтерфейсу під номером "N" нижчий, ніж пріоритет інтерфейсу, від якого здійснюється

синхронізація мережевого елемента, то слідє перехід до Кроку 13. Якщо дана умова не виконана, то перехід до Кроку 12.

Крок 12. Операція перерозподілу пріоритетів, тобто інтерфейсом, від якого здійснюється синхронізація, стає інтерфейс під номером "N".

Крок 13. Аналіз умови "перевірені всі вхідні інтерфейси". Якщо умова не виконана, то присвоюється значення змінної "N", і слідє перехід до Кроку 6. Якщо умова виконана, то слідє перехід до Кроку 14.

Крок 14. Процедура сортування пріоритетів вхідних інтерфейсів мережевого елемента: вхідному порту, вибраному для синхронізації привласнюється найвище значення пріоритету ("1"). Другий і третій пріоритет призначаються з врахуванням якості сигналу синхронізації і аналізу попереднього стану пріоритетів на вхідних інтерфейсах мережевих елементів.

Якість функціонування фрагмента мережі синхронізації, в якому мережні елементи функціонують за алгоритмом з динамічною адаптацією дерева синхронізації може досягати якості функціонування фрагмента з ідеальним алгоритмом, тобто може бути досягнутий теоретична межа якості функціонування.

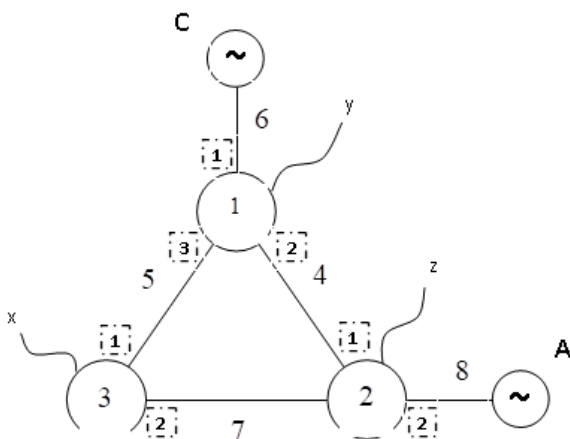


Рис. 9 Кільцевий фрагмент мережі

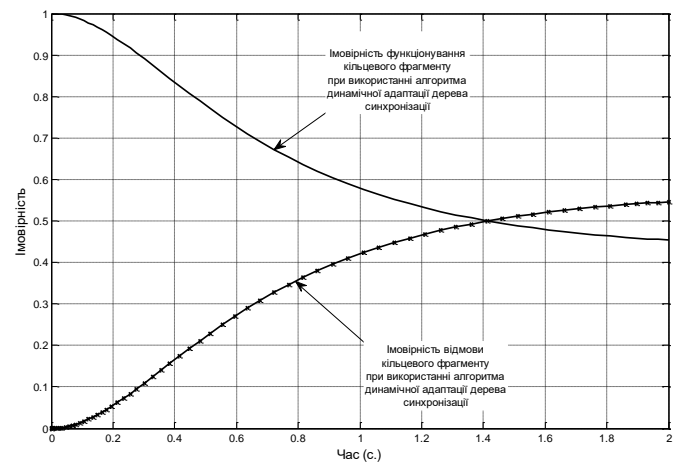


Рис. 10 Функціональна залежність імовірності функціонування і відмов

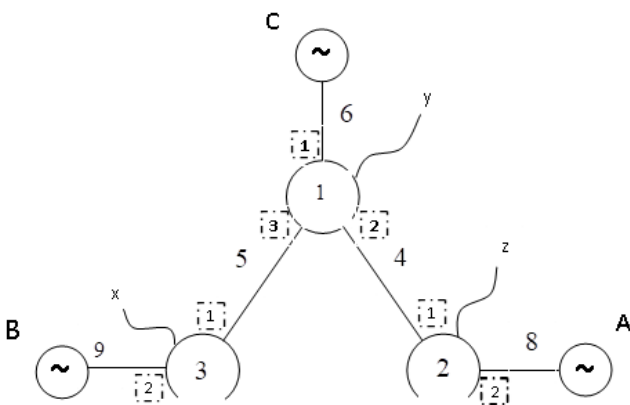


Рис. 11 Деревовидний фрагмент мережі

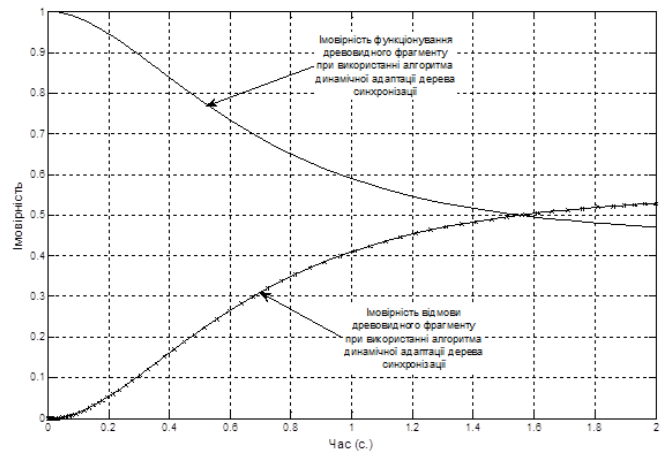


Рис. 12 Функціональна залежність імовірності функціонування і відмов

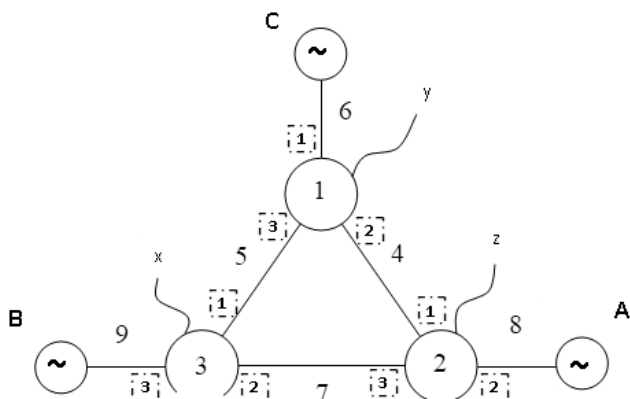


Рис. 13 Трикутний фрагмент мережі

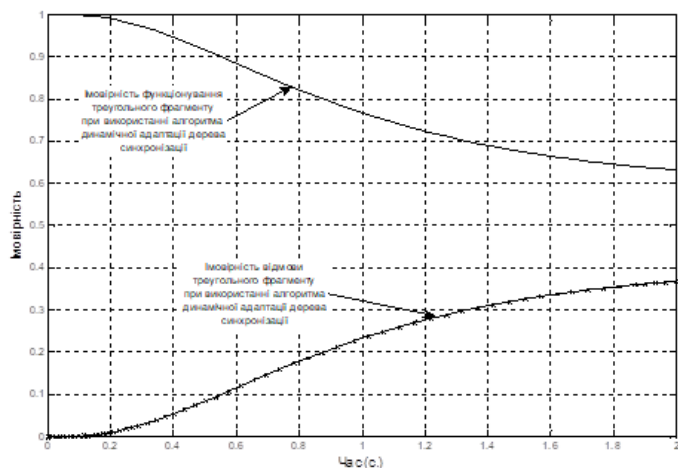


Рис. 14 Функціональна залежність імовірності функціонування і відмов

Таким чином, використання алгоритму з динамічною адаптацією дерева синхронізації на даній топології доцільніше ніж використання існуючих алгоритмів.

Удосконалення методу переконфігурування мережевої синхронізації в мережах IP/MPLS

Визначивши функціонування основних елементів мережі IP/MPLS створено наступну структуру граничного мережевого вузла (PE маршрутизатор). Кожному клієнту надається VPN для побудови корпоративної мережі та доступу до Інтернету. Граничний маршрутизатор мережі провайдера класифікує трафік, агрегує трафік по класам, розділяє трафік кожного класу на два маршрути, створює тунельні маршрути LSP з резервуванням мережевих ресурсів (згідно TE). Розрахунок маршрутів відбувається на базі модифікованого алгоритму Дейкстри динамічного переконфігурування мережі:

Крок 1. На вхідний інтерфейс маршрутизатора PE від маршрутизатора клієнта CE подається трафік.

Крок 2. Вхідний трафік класифікується по типу (голос, відео, дані HTTP та інше) на 8 класів.

Крок 3. Кожен клієнт підключається до власної VPN мережі і для нього на граничному маршрутизаторі є таблиця маршрутизації VRF для направлення трафіку всередині VPN (Virtual Routing and Forwarding).

Крок 4. Агрегатор об'єднує трафік від всіх користувачів в окремі потоки розділяючи по класам.

Крок 5. Маршрутизатор на основі службової інформації протоколів маршрутизації OSPF/IS-IS будує базу LSD найкоротших шляхів для розповсюдження міток по мережі.

Крок 6. Також на основі даної інформації з використанням розширеного алгоритму знаходження найкоротшого шляху Дейкстри (з урахуванням 5 мерик) формується база LSP тунелів.

Крок 7. Система балансування потоками (Load Balancing) розділяє кожен клас трафіку на два потоки, які будуть направлені по двом різним маршрутам. Два

незалежних маршрути між двома точками формуються на основі модифікації алгоритму Дейкстри.

Крок 8. Розширений протокол резервування TE-RSVP резервує ресурси мережі, для кожного, із двох потоків, кожного класу трафіку, на основі інформації баз LSD і TED і назначає трафіку мітки, на основі яких трафік буде зкомутований по зарезервованому каналу.

Модель мережевого пристрою для дослідження схем синхронізації. В процесі проектування схеми розподілу сигналів синхронізації в мережі необхідно враховувати низку чинників, а саме:

- працездатність ліній зв'язку між вузлами, які характеризуються показниками сталості й виражені через значення інтенсивностей потоків відмов й відновлення зв'язків;
- відмінність алгоритмів функціонування мережевих елементів синхронізації;
- відмінність функціональних характеристик мережевих елементів обладнання різних виробників і різних поколінь.

З причини складності проектування мережевої синхронізації з врахуванням даних чинників, був розроблений програмний пакет, що дозволяє автоматизувати процес планування. Даний пакет створений в середовищі Simulink оболонки MATLAB. Такий підхід до вибору середовища проектування обумовлений:

- простотою використання;
- можливістю використовувати вбудовані алгоритми і пристрої відображення інформації;
- можливістю використання власних готових алгоритмів реалізованих на мовах C і C++;
- можливістю масштабування проекту, що дозволяє, в компактному вигляді представляти мережу з великою кількістю вузлів синхронізації і здійснювати аналіз як функціонування мережі синхронізації в цілому, так і окремого її фрагменту.

Основою даного програмного пакету служить модель мережевого елементу (рис. 15), що складається з "логічної" та "фізичної" функціональних частин.

Логічна частина здійснює взаємодію з фізичною частиною моделі за допомогою сигналів управління, які формуються і транслюються блоком управління. Блок управління реалізує наступні функції:

- вибір опорного сигналу синхронізації по повідомленню про статус синхронізації і пріоритетам, привласненим вхідним портам;
- формування сигналів управління, з врахуванням встановлених порогів, які застосовуються для здобуття гарантованої якості сигналів синхронізації;
- трансляція сигналів управління, з врахуванням затримок які властиві даному типові обладнання.

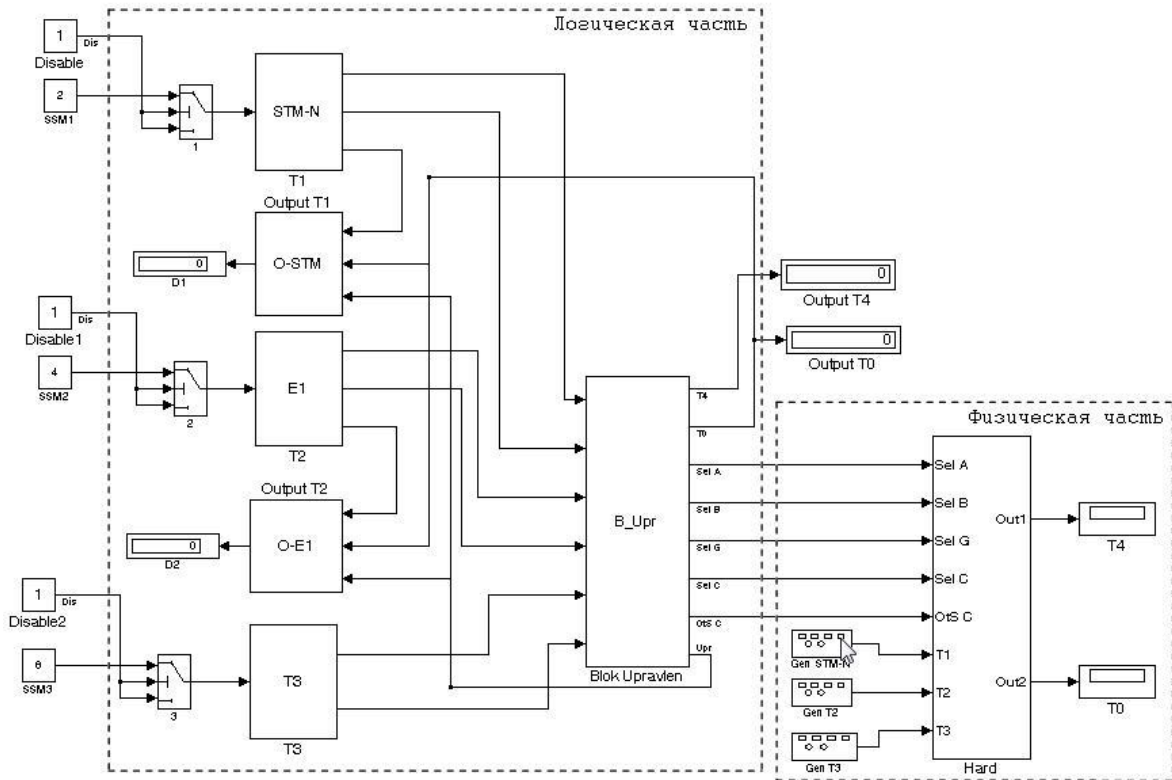
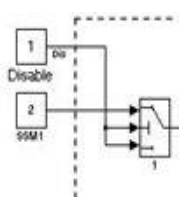


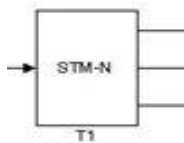
Рис. 15 Модель мережевого елемента синхронізації

Фізична частина реалізована у вигляді фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) і керованих комутаторів (селекторів). Управління комутаторами здійснює логічна частина. Існує можливість в широких межах варіювати параметри ФАПЧ з метою здобуття необхідних характеристик обладнання синхронізації.

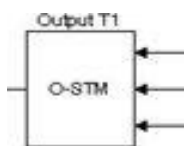
Призначення кожного блоку логічної частини моделі мережевого елемента синхронізації, представлено на рис. 15:



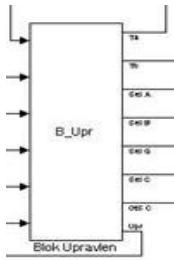
– блок, що здійснює вибір алгоритму функціонування мережевого елемента (на базі пріоритетів або на основі повідомлення про статус синхронізації), а так само трансляцію значення повідомлення про статус синхронізації на вхідний інтерфейс мережевого елемента;



– блок попередньої селекції, який задає число вхідних інтерфейсів і пріоритети для кожного з них; а також здійснює попередній вибір найкращого сигналу синхронізації на основі пріоритетів або на основі значення повідомлення про статус синхронізації, переданого в заголовку інформаційного повідомлення потоку STM-N. Блоки E1 і T3 виконують аналогічні функції для компонентного сигналу (2,048 Мбіт/с) і сигналу синхронізації (2,048 МГц - 2,048 Мбіт/с);

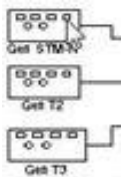


– блок вихідних інтерфейсів, який здійснює трансляцію значення повідомлення про статус синхронізації для зовнішніх мережевих елементів;

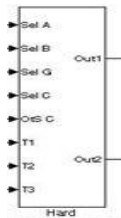


– блок управління, який здійснює остаточний вибір сигналу синхронізації, що використовується в якості опорного для мережевого елемента. Також даний блок управляє блоками вихідних інтерфейсів, а також здійснює управління всіма блоками, реалізованими у фізичній частині моделі мережевого елемента.

Призначення кожного блоку фізичної частини моделі мережевого елемента синхронізації, представлено на рис. 15:



– блок, що моделює фізичний сигнал синхронізації, який виділяється з потоку STM-N, компонентного сигналу 2,048 Мбіт/с і сигналу синхронізації 2,048 МГц / 2,048 Мбіт/с;



– блок формування вихідного сигналу синхронізації, який за допомогою селекторів А, В і С і фазового автопідстроювання частоти формує вихідний сигнал синхронізації.

ВИСНОВКИ

Сукупність наукових положень, сформульованих і обґрунтованих у дисертаційній роботі, складає вирішення **науково-прикладна задача** розробки методів підвищення сталості функціонування мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі.

Основними науковими результатами, які отримані дисертантом особисто є:

1. Проведено аналіз працездатності існуючих топологічних структур з врахуванням дії на них сумарного потоку відмов і відновлень. Результати дослідження показали, що у всіх випадках фрагмент з трикутною структурою може бути використаний в мережах синхронізації, оскільки має вищу відмовостійкість, проте в окремих випадках використання трикутного фрагмента недоцільне у зв'язку з тим, що виграш за відмовостійкістю незначніший, ніж програш за вартістю.

2. Розроблено метод визначення сталості функціонування мережевої синхронізації для кожного з фрагментів мережі синхронізації за заданих початкових умов: інтенсивність відмов, інтенсивність відновлення і початкові умови, в яких знаходилася система і з врахуванням таких параметрів:

- алгоритм функціонування вузла синхронізації;
- спосіб встановлення пріоритетів вхідним інтерфейсам (портам) синхронізації;
- встановлення рівнів якості (quality level) сигналів синхронізації;
- топологія фрагмента мережі.

Використання розробленого методу дозволить на 25% підвищити сталість мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі при виникненні аварійних ситуацій під час надання послуг.

3. Удосконалено метод аналізу працездатності фрагмента мережі синхронізації довільної топології. На основі розробленого методу можна створювати мережі синхронізації, що мають підвищену сталість, що має велике значення у разі, коли на деяких ділянках телекомунікаційної мережі (фізичний рівень) є підвищена імовірність виникнення аварійних ситуацій. Розроблено механізм введення програмованої затримки в алгоритм функціонування мережевого елемента з метою запобігання часових петель синхронізації.

4. Удосконалено метод динамічної адаптації дерева синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії, реалізація якого, на відміну від існуючих, можлива на основі механізму динамічного переконфігурування пріоритетів, що привласнюються вхідним інтерфейсам мережевих елементів синхронізації.

5. Удосконалено метод переконфігурування мережевої синхронізації в мережах IP/MPLS, що дозволить збільшити ефективність планування та використання алгоритмів функціонування мережевих елементів з урахуванням імовірнісних характеристик подій, що відбуваються в мережі синхронізації на 10-13%.

6. Розроблено систему автоматизованого проектування, що дозволяє аналізувати існуючі й планувати нову мережеву синхронізації, з використанням запропонованих топологічних структур і механізму формування динамічної адаптації дерева синхронізації, що дозволить підвищити ефективність планування мережевої синхронізації при використанні алгоритмів функціонування мережевих елементів та з урахуванням імовірнісних характеристик подій, що відбуваються в мережі синхронізації на 10-13%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Єліссаві Камал Кхалифа А. Метод аналізу працездатності фрагмента мережі синхронізації довільної топології / Ю.І. Хлапонін, К. К. Єліссаві //Перспективы предоставления услуг на основе сетей пост-NGN, 4G и 5G. Организационные и технические решения по их построению и защите: регион. міжнар. наук.-техн. конф. МСЕ для країн Європи і СНД, м. Київ, 7-9 червня 2017 р., С. 168-169.

2. Єліссаві Камал Кхалифа А. Контроль использования трафика в мультисервисной макросети / К. К. Єліссаві, Н.В. Федорова // *НЗ УНДІЗ*. 2017 р., №4(48). – С.43-48.

3. Єліссаві Камал Кхалифа А. Первичные источники синхронизации в современных мультисервисных макросетях мобильной связи// *Сучасний захист інформації*. 2017 р., № 4(32). – С.50 – 54. **Фахове видання**

4. Єліссаві Камал Кхалифа А. Сетевая синхронизации в мультисервисных макросетях // X Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми інформатизації". – 12-13 квітня 2018 р. - С.106-108.

5. Єліссаві Камал Кхалифа А. Контроль использования трафика в мультисервисной макросети / К. К. Єліссаві, Н.В. Федорова // X Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми інформатизації". – 12-13 квітня 2018 р. - С.108 -110.

6. Єліссаві Камал Кхалифа А. Разработка показателей стабильности сигналов синхронизации для сетей мобильной связи поколения 4G // Региональный семинар

Международного союза электросвязи для стран Европы и СНГ «Цифровое будущее на основе 4G/5G». – 14-16 травня 2018, С. 41-43.

7. Елиссави Камал Кхалифа А. Мониторинг качества опорных сигналов синхронизации при переходе на пакетные сети / Елиссави Камал Кхалифа А, Н.В. Федорова, В.И. Вакась // Региональный семинар Международного союза электросвязи для стран Европы и СНГ «Цифровое будущее на основе 4G/5G». – 14-16 травня 2018 р.- С. 88-90.

8. Елиссави Камал Кхалифа А. Синхронизации частоты и времени в мультисервисных макросетях / Елиссави Камал Кхалифа А, Н.В. Федорова // VI Міжнародна науково-технічна конференція студентства та молоді «Світ телекомунікації та інформатизації». - 17 травня 2018 р. - С.34-35.

9. Елиссави Камал Кхалифа А. Эволюция развития первичных источников синхронизации // VI Міжнародна науково-технічна конференція студентства та молоді «Світ телекомунікації та інформатизації». - 17 травня 2018р. - С.36-37.

10. Елиссави Камал Кхалифа А. Контроль использования трафика в мультисервисной макросети / Елиссави Камал Кхалифа А, Н.В. Федорова // *НЗ УНДІЗ*. 2017 р., № 4(48). – С.43-48.

11. Елиссави Камал Кхалифа А. Способы синхронизации частоты и времени в мультисервисных макросетях / Елиссави Камал Кхалифа А, Н.В. Федорова // *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2018, № 1(58), С. 60-65. **Фахове видання**

12. Елиссави Камал Кхалифа А. Принципы сетевой синхронизации в мультисервисных макросетях // *Зв'язок*. 2018, № 1. - С. 88-93. **Фахове видання**

13. Елиссави Камал Кхалифа А. Разработка показателей стабильности сигналов синхронизации для сетей мобильной связи поколения 4G // *Сучасний захист інформації*. 2018 р., №2(34). – С.31 – 35. **Фахове видання**

14. Елиссави Камал Кхалифа А. Модификация параметров стабильности сигналов синхронизации при переходе на пакетные сети / К. К. Елиссави , Н.В. Федорова, В.И. Вакась, А.А. Манько // *Веснік Сувязі*. – 2019. –№1 (148). – С. 56 -59. **Фахове видання**

15. Єліссаві К. К. Узагальнюючий алгоритм аналізу працездатності фрагмента мережі синхронізації довільної топології / Ю.І. Хлапонін, К. К. Єліссаві // *Вісник інженерної академії*. 2019. – Вип. 4 – С. 134-139. **Фахове видання**

16. Ellisavi K.K. Method of improving the stability of network synchronization in a multiservice macro network / K. Ellisavi, Y. Khlaponin, D. Khlaponin, A. Selyukov// *CEUR Workshop*, Vol-2654 P. 786 – 797. – ISSN 1613-0073 **Scopus**.

17. Єліссаві К. К. Вибір інформаційної технології для підвищення точності синхронізації сигналу, що приймається системою супутникового зв'язку при кутовій демодуляції сигналу/К. К. Єліссаві, О.Л. Туровський// *Вісник інженерної академії* – 2020. – Вип. 1 – С. 126-132. **Фахове видання**

18. Khlaponin Yu., Elissawi Kamal Khalifa A, Khlaponin D. Analysis of services management methods in multiservice macronets. *Norwegian Journal of development of the International Science*. Oslo, Norway. 2020. Vol. 51. Pp. 42–48. ISSN 3453-9875.

19. Єліссаві К. К. Інформаційна технологія підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі /К.К. Єліссаві, Ю.І.

Хлапонін// Перспективні напрями захисту інформації: 6-а Всеукраїнська науково-практична конференція, 2- 6 вересня 2020 р., ОНАЗ, 2020 р., тези доп. – С.9-11, м. Одеса.

АНОТАЦІЯ

***Єліссаві Камал Кхаліфа А.* Методи підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Київ, 2021.

В роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача, що полягає у розробці методів підвищення сталості мережевої синхронізації в сучасній мультисервісній макромережі, застосування яких дозволить на 25% збільшити надійність та сталість мережевої синхронізації в мультисервісній макромережі при виникненні аварійних ситуацій під час надання послуг та підвищити ефективність планування мережевої синхронізації та використання алгоритмів функціонування мережевих елементів з урахуванням імовірнісних характеристик подій, що відбуваються в мережі синхронізації на 10-13%.

В роботі: – вперше розроблено метод визначення сталості функціонування мережевої синхронізації з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень, топології мережі й алгоритмів функціонування мережевих елементів з врахуванням імовірнісних характеристик подій, що відбуваються в мережі синхронізації; - удосконалено метод функціонування мережевого елементу на базі зміни пріоритетів і введення механізму програмованої затримки в алгоритм формування повідомлень про статус синхронізації, який дозволяє запобігти появі часових петель в замкнених топологічних структурах мультисервісної макромережі; - удосконалено метод переконфігурування мережевої синхронізації в мережах IP/MPLS, який дозволить збільшити ефективність планування та використання алгоритмів функціонування мережевих елементів з урахуванням імовірнісних характеристик подій, що відбуваються в мережі синхронізації на 10-13%; - встановлено, що використання удосконаленого методу динамічної адаптації дерева синхронізації на основі замкнутої топології є доцільнішим, ніж використання існуючих алгоритмів на даній топології та дозволить на 25% збільшити надійність та сталість мережі при виникненні аварійних ситуацій під час надання послуг.

Якість функціонування фрагмента мережі синхронізації, в якому мережні елементи функціонують за алгоритмом з динамічною адаптацією дерева синхронізації може досягати якості функціонування фрагмента з ідеальним алгоритмом, тобто може бути досягнута теоретична межа якості функціонування.

Ключові слова: мультисервісна макромережа, мережева синхронізація, мережеві вузли, єдине джерело синхронізації, адаптивне дерево синхронізації.

ANNOTATION

Elissavi Kamal Khalifa A. Method of improving the sustainability of network synchronization of a modern multiservice macro network - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.13.06 «Information technologies» Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The work is devoted to the development of methods for improving the sustainability of network synchronization of a modern multiservice macro network, the use of which will allow a 25% increase in the reliability and sustainability of network synchronization of a multiservice macro network when emergency situations arise during the provision of services and improve the efficiency of network synchronization planning and the use of algorithms of network elements taking into account probability characteristics events occurring in network synchronization by 10-13%.

In the work: - a method for determining the stability of the network synchronization for each of the fragments of the synchronization network under the given initial conditions: failure rate, recovery intensity and initial conditions in which the system was and taking into account the following parameters:

- algorithm of functioning of synchronization node; - method of setting priorities for input interfaces (ports) of synchronization;
- setting quality levels of synchronization signals;
- network fragment topology.
- the method of functioning of a network element on the basis of change of priorities and introduction of the mechanism of the programmed delay in algorithm of formation of messages on the synchronization status allows to appear emergence of time loops in the closed topological structures of a multiservice macronetwork is improved; - the method of reconfiguration of network synchronization in IP / MPLS networks is improved, which will increase the efficiency of planning and use of algorithms for functioning of network elements taking into account the probabilistic characteristics of events occurring in the synchronization network by 10-13%; - it is established that the use of an advanced method of dynamic adaptation of the synchronization tree based on a closed topology is more appropriate than the use of existing algorithms on this topology and will increase by 25% network reliability and stability in case of emergencies.

The quality of functioning of the fragment of the synchronization network, in which the network elements operate according to the algorithm with dynamic adaptation of the synchronization tree can achieve the quality of functioning of the fragment with the ideal algorithm, the theoretical limit of quality of functioning can be reached.

Keywords: multiservice macro networks, network synchronization, network nodes, single synchronization source, adaptive synchronization tree.

Підписано до друку 27.10.2021. Формат 60x90/16
Ум. друк. арк. 1,25. Обл.-вид. 0,9.
Наклад 100 прим. Зам. 1308-21

Видавничо-друкарський комплекс «Університет Україна»
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №405 від 06.04.01.
м. Київ, вул. Львівська, 23, тел. (044) 424-40-69