

УДК 621.395.7

С.М. ЦИРУЛЬНИК, С.І. ПЕРЕВОЗНИКОВ, В.І. РОПТАНОВ, О.В. РОПАТНОВ

НАДІЙНІСТЬ ОПТИЧНИХ КІЛЬЦЕВИХ МЕРЕЖ

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна,
тел.: +380 (432) 439002, E-mail: sovnm@list.ru*

Анотація. Стаття присвячена аналізу основних характеристик надійності транспортної мережі, інфраструктура якої заснована на технології SDH. Підвищення надійності існуючого SDH-кільця досягається за рахунок застосування фрагментованих дубльованих кільцевих структур з використанням оптичних обхідних перемикачів.

Аннотация. Стаття посвящена анализу основных характеристик надежности транспортной сети, инфраструктура которой основана на технологии SDH. Повышение надежности существующего SDH - кольца достигается за счет применения фрагментируемых дублируемых кольцевых структур с использованием оптических обходных переключателей.

Abstract. The article is devoted to the analysis of basic descriptions of reliability of a transport network the infrastructure of which is based on technology of SDH. An increase of reliability of existent SDH is rings arrived at due to application of the fragmented duplicated circular structures with the use of optical roundabout switches.

Ключеві слова: оптична кільцева мережа, SDH, дубльована кільцева структура, надійність транспортної мережі, оптичний перемикач.

ВСТУП

Бурхливий розвиток мережевих систем зв'язку, що використовують кільцеві топологічні структури (кільцеві мережі), доводиться на початок 80-х рр. минулого століття. Цей період розвитку кільцевих мереж був пов'язаний з локальними мережами передачі даних. Активно розвивалися такі технології, як PDH, SONET, SDH, ISDN, Frame Relay, ATM [1], розвиток яких привів згодом до появи стандарту кільцевих оптичних високошвидкісних і високонадійних мереж передачі даних, розподілених волоконно-оптичних інтерфейсів (FDDI).

У мережах зв'язку загального користування широке впровадження кільцевих топологічних структур викликано перш за все розвитком технології SDH, яка в даний час домінує на ринку устаткування для побудови різних ділянок електровз'язку. Ця технологія базується в основному на кільцевих структурах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Інтерес до технології SDH обумовлений тим, що ця технологія прийшла на зміну імпульсно-кодової модуляції PCM (КМ) і стала інтенсивно упроваджуватися в результаті масового встановлення сучасних зарубіжних цифрових АТС, які дозволяють оперувати потоками 2 Мбіт/с, і створення в регіонах локальних кілець SDH [2, 3]. На сьогоднішній день на основі технології SDH відбувається масштабне переобладнання старої аналогової мережі зв'язку в цифрову взаємозв'язану мережу зв'язку, яка використовує самі передові технології.

У даний час найчастіше для побудови кільцевих мереж застосовується один тип направляючих систем – оптоволоконні кабелі. При використанні дубльованих кільцевих структур забезпечується логічна повнозв'язаність абонентів при пошкодженні лінійних споруд на одній з ділянок або при відмові устаткування одного з вузлів, тобто досягається висока відмовостійкість і самовідновлення. У роботах Шполянського Е. А. [4], Кабиша С. В. [3, 5], Комарницького Е. І. [6], Камінецького І. С. [7] розглядається можливість забезпечення високої надійності за рахунок організації відновлення і резервування на оптичному рівні. Використання окремих оптичних каналів/оптичних довжин хвиль дозволяє забезпечити високу швидкість перемикачів і підвищує ефективність роботи системи резервування. Завдяки цьому з'являється можливість реалізувати в мережах зв'язку значно ефективніші схеми організації резервування і відновлення.

Створення системи резервування і відновлення магістральної мережі неминуче пов'язане з додатковими витратами. Найбільша частина витрат доводиться на систему мережевого резервування, оскільки саме мережевий резерв має найбільшу вартість в порівнянні з іншими елементами системи резервування і використовується лише в разі пошкоджень на мережі. Тому необхідно організувати таку систему резервування, яка дозволить забезпечити високу надійність мережі зв'язку із збереженням прийняттого рівня фінансових вкладень.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Надійність транспортної мережі зв'язку є одним з найважливіших показників працездатності мережі. Саме тому багато національних операторів зв'язку, провайдери і мобільні оператори зв'язку прагнуть підвищити показники надійності роботи мережі, яка залежить від надійності складових елементів (мультиплексорів, комутаторів, маршрутизаторів), а також від вибраної схеми захисту. Сучасні транспортні телекомунікаційні мережі переносять значну кількість інформації з високою швидкістю, тому навіть короточасні перерви зв'язку ведуть до втрати великої кількості інформації. Таким чином, розробка методів підвищення надійності в оптичних мережах є актуальною на сьогоднішній день.

Мета досліджень: вивчення і аналіз основних характеристик надійності транспортної мережі, інфраструктура якої заснована на технології SDN і розробка методів підвищення надійності існуючого SDN-кільця.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Дослідити основні характеристики надійності оптичної кільцевої мережі, що побудована за топологією подвійного кільця, на базі комплексу цифрової АТС і розробити методи підвищення її надійності.

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ОПТИЧНОЇ КІЛЬЦЕВОЇ МЕРЕЖІ

Основними чинниками, що впливають на надійність мережі, є топологія мережі, надійність волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) і надійність волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛС). При побудові сучасних ВОСП застосовується двоточкова, зіркоподібна, кільцева (подвійне кільце) топологія. Вибір топології обумовлений завданнями, які ставляться перед мережею у кожному конкретному випадку.

Надійність ВОСП залежить від надійності складових елементів і від вибраної схеми захисту:

- резервування ділянок мережі по рознесених трасах (схеми 1+1 та 1:1);
- резервування при організації кільцевих мереж, що самовідновлюються (схеми 1+1 та 1:1);
- резервування термінального устаткування (схеми 1:1 та 1:N);
- відновлення працездатності мережі шляхом обходу пошкодженого вузла;
- використання систем оперативного перемикавання.

Схема 1+1 – основне кільце активне, а дублююче пасивне. В разі відмови основного кільця трафік прямує по дублюючому кільцю.

Схема 1:1 – основне кільце використовується для передачі високопріоритетного трафіку, а дублююче – низькопріоритетного. В разі відмови основного кільця, високопріоритетний трафік прямує по дублюючому кільцю, а низькопріоритетний може бути припинений.

Схема 1:N – одна лінія або плата, можуть бути використані як резервні, для N-го кількості ліній або плат.

Надійність ВОЛС залежить від надійності компонентів (оптичний кабель, оптичні муфти, крайові пристрої) і рівня технічного обслуговування.

Поняття відмови функціонування, під яким [4] найчастіше розуміється збільшення ймовірності втрат викликів понад допустимий поріг, дозволяє використовувати в завданнях дослідження надійності систем зв'язку математичний апарат і методичні прийоми, аналогічні моделям структурної надійності, отримані для кільцевих локальних систем передачі даних (СПД) [2].

На основі аналізу даної системи і специфіки функціонування кільцевої оптичної мережі можна запропонувати класифікацію відмов даної системи:

а) що призводять до простою двох і більше абонентських цифрових концентраторів (АЦК) і втраті зв'язку їх абонентів, а також до зниження якості обслуговування викликів абонентів, що не втратили зв'язок (відмови першого роду); б) що призводять до простою одного АЦК і втраті зв'язку його абонентів, а також зниження якості обслуговування викликів абонентів, що не втратили зв'язок (відмови другого роду); в) що призводять до переходу до стану, якому відповідає середня після всіх видів з'єднань в мережі доля втрачених викликів (відмови третього роду) [2, 5].

На рис. 1 показані можливі руйнівні дії на мережу, що призводять до виникнення відмов. Цифри із стрілками вказують, до відмов якого роду призводять дані дії. П - подібними лініями об'єднані дві дії, що одночасно виникають.

Так, обрив одного або двох ВОЛС в кільці (перекреслювання на рис. 1) призводять до відмов третього роду. Одночасний обрив двох ліній обох напрямів довкола АЦК-1 призводять до відмови другого роду. Повна відмова одного АЦК, що виникає, наприклад, унаслідок тривалої відсутності електроживлення (перекреслювання АЦК-і на рис. 1), наводить до відмови другого роду. Одночасний обрив ліній обох кілець довкола АЦК-2 і АЦК-3 призводить до виникнення відмови першого роду.

У мережі використовуються апаратно-програмні засоби, що реалізують протокол V5.2 або інші [1], які, окрім інших функцій, при виникненні часткової або повної відмови в одній групі трактів переводять весь трафік, що передається, в другу групу, що справна.

Таким чином, така мережа має в своєму складі засоби для боротьби з відмовами. Однократні обриви ліній і проблеми в АЦК не приводять до відмов першого роду, що спричиняють за собою найтяжчі наслідки для працездатності системи зв'язку. Виникнення дій, що приводять до відмов першого роду, – малоймовірно.

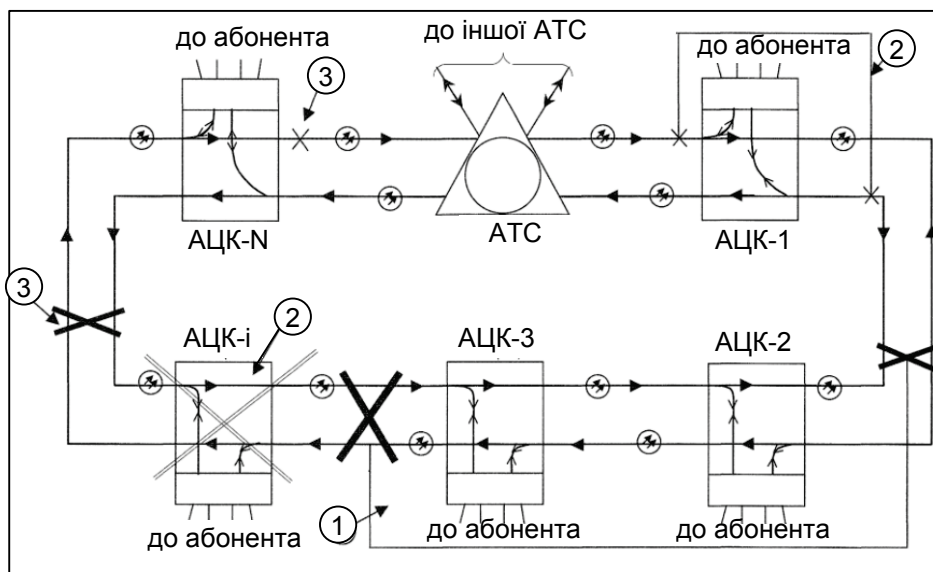


Рис. 1. Виникнення відмов у кільцевій оптичній мережі

Введемо позначення ймовірності виникнення відмови першого роду в довільний момент часу – $P1$, відмови другого роду – $P2$, відмови третього роду – $P3$. Передбачимо, що дані типи відмов виникають окремо і незалежно один від одного. Вважаємо, що стан безвідмовної роботи мережі і три типи введених вище відмов складають повну групу подій. Тоді справедлива рівність:

$$P1 + P2 + P3 + Q_t = 1,$$

де Q_t – ймовірність безвідмовної роботи мережі в довільний момент часу t .

$$P1 + P2 + P3 = P_t, \quad (1)$$

де P_t – ймовірність відмови мережі в довільний момент часу t .

Тоді

$$Q_t = 1 - P_t \quad (2)$$

Середнє напрацювання на відмову визначається [8]:

$$\bar{T}_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} Q(t) dt, \quad (3)$$

де $f(t)$ – щільність ймовірності відмови у момент часу t ; $Q(t)$ – ймовірність того, що в межах заданого проміжку часу t не станеться відмови;

$$f(t) = \frac{d}{dt} P(t) = \frac{d}{dt} [1 - Q(t)],$$

де $P(t)$ – ймовірність виникнення відмови в межах заданого проміжку часу t ; t – час від початку праці до виникнення відмови.

Важливою характеристикою надійності є ймовірність безвідмовної роботи мережі протягом заданого проміжку часу, яка визначається з співвідношення:

$$Q(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t$$

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2,$$

де λ_1 – інтенсивність відмов лінійних споруд; λ_2 – інтенсивність відмов АЦК; t – проміжок часу.

Ця характеристика використовується, зокрема, у рівнянні (3). Таким чином, в першому наближенні розглянутий підхід до аналізу надійності оптичної мережі з топологією подвійного кільця і наведені основні характеристики її надійності – надійність устаткування і надійність лінійних споруд.

У волоконно-оптичних лініях зв'язку [9, 10] має місце специфічне внутрішнє джерело відмов – обриви ВОЛС, викликані старінням кварцового скла. Це зумовлює особливості розрахунку показників надійності ВОЛС.

Кількісно надійність ВОЛС може бути виражена ймовірністю безвідмовної роботи:

$$P(t, L) = \exp \left[- \int_0^t \left(\sum_{i=1}^n \overline{\Lambda}_i(t) L_i \right) dt \right],$$

де L_i – довжина i -ї ділянки (вважається що сегмент ВОЛС складається з декількох ділянок з однаковими умовами експлуатації); T – проміжок часу, для якого визначається ймовірність безвідмовної роботи; $\overline{\Lambda}_i$ – середня інтенсивність відмов на одиницю довжини лінійних споруд.

Інтенсивність відмов за певний проміжок часу представляється сумою складових, обумовлених відмовами із-за зовнішніх чинників $\Lambda_{ЗН}$, дії відмовами муфт і зростків Λ_M , обривами ВОЛС із-за старіння скла $\Lambda_{СТ}$:

$$\overline{\Lambda}_i(t) = \Lambda_{ЗН} + \Lambda_M + \Lambda_{СТ}(t).$$

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОПТИЧНОЇ КІЛЬЦЕВОЇ МЕРЕЖІ

Широко відомим і часто вживаним методом підвищення надійності мереж з кільцевою топологічною структурою є дублювання кільць – створення структур типу «подвійне кільце» у вигляді двох взаємодоповнюючих і взаємодублюючих кільцевих структур, сигнали в яких поширюються в протилежних напрямках. За відсутності відмов весь каналний ресурс використовується в таких системах для забезпечення заданого рівня вимог до якості обслуговування викликів. Найбільш часті одиночні відмови лінійних споруд і устаткування можуть наводити в даній мережі лише до відмов третього роду, тобто частковому зниженню якості обслуговування. Іншим ефективним методом підвищення надійності і відмовостійкості кільцевих мереж є їх фрагментація – розбиття мережі на декілька кільцевих фрагментів меншої розмірності так, щоб відмови в будь-якому з фрагментів не робили впливу на характеристики якості обслуговування абонентів в інших фрагментах. Приклад реалізації фрагментованої мережі на основі дубльованих кільцевих структур показаний на рис. 2.

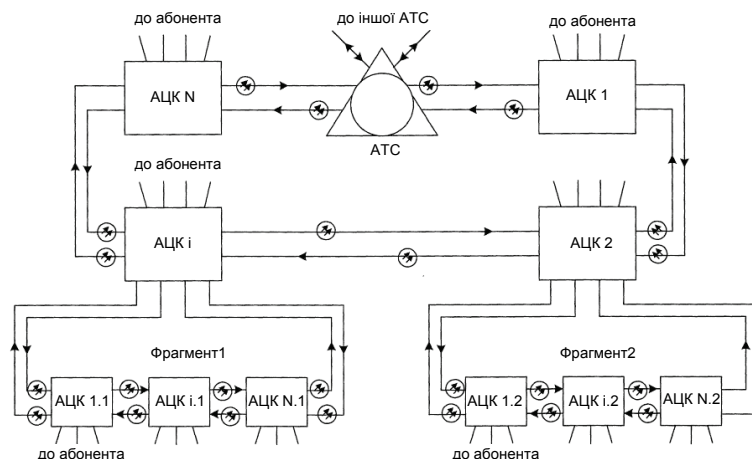


Рис. 2. Фрагментована кільцева оптична мережа

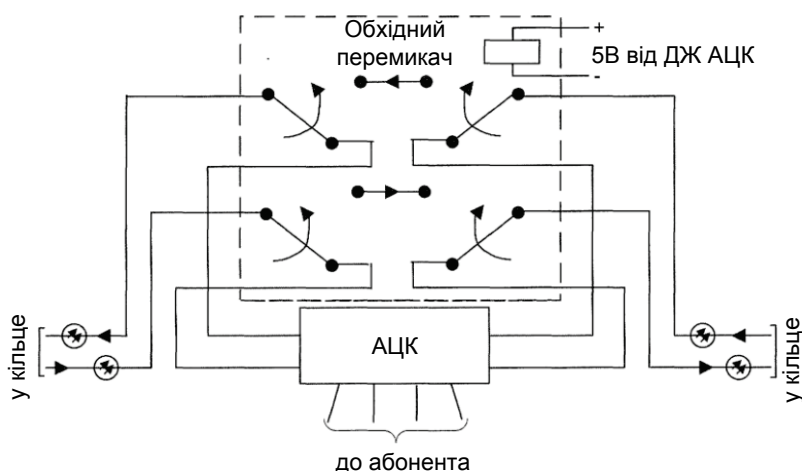


Рис. 3. Використання обхідних перемикачів для підвищення надійності оптичної кільцевої мережі

Ще одним ефективним методом, що забезпечує підвищення надійності кільцевих оптичних мереж, є установка на АЦК з оптичним інтерфейсом оптичних перемикачів, що перемикають лінії, що відмовили, в обхід АЦК. Виходячи із специфіки роботи даної дубльованої кільцевої мережі, доцільне застосування обхідних перемикачів, керованих від джерел вторинного електроживлення АЦК. У цьому випадку при відключенні електроживлення або відмові джерел живлення на даному АЦК оптичний сигнал в обох кільцевих структурах буде направлений в обхід цього АЦК. Один з варіантів реалізації обхідних перемикачів в кільцевій мережі показаний на рис. 3., де використовуються недорогі, надійні, швидкодіючі одномодові електрооптичні LiNbO_3 перемикачі [9, 11, 12].

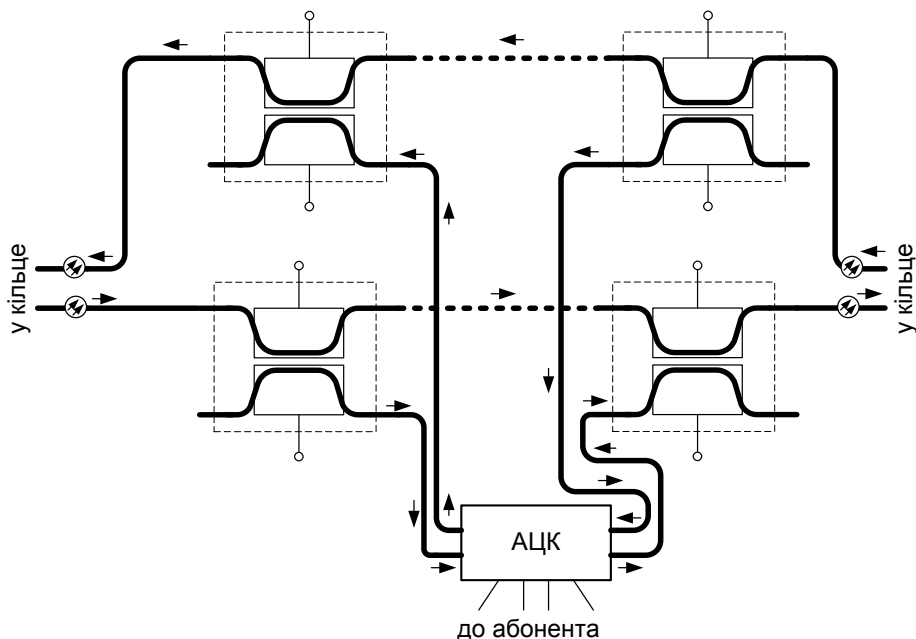


Рис. 4. Реалізація обхідних перемикачів на електрооптичних LiNbO_3 перемикачах

ВИСНОВКИ

Для підвищення надійності і відмовостійкості оптичної кільцевої мережі необхідно: на мережах електрозв'язку сільських і приміських районів застосовувати лише дубльовані кільцеві мережі перенесення з дублюванням комплектами станційного устаткування і лінійних споруд, виконаними за принципом взаємодоповнення; застосовувати фрагментовані дубльовані кільцеві структури. Розміщення фрагментів рекомендується на ділянках, найбільш схильних до руйнівальних дій; у складі оптичного інтерфейсу використовувати оптичні обхідні перемикачі, в першу чергу для тих АЦК, які схильні до частих відмов системи електроживлення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Слепов Н. Н. Синхронные цифровые сети SDH / Н. Н.Слепов. – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997. – 148 с. – ISBN 5-88405-002-4.
2. Никульский И. Е. Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа / И. Е. Никульский. – М.: Техносфера, 2006. – 256 с. – ISBN 5-94836-087-3/
3. Кабыш С.В. Надёжные ВОЛС: альтернативы нет [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fiber-co.com/4business-reliable.html>, вільний. – Заг. з екрана. – Мова рос.
4. Шполянский Е. А. Методы расчета надежности и оптимизации загрузки кольцевых SDH – сетей /Е. А. Шполянский//Информация и космос. – №3. –2004. – С. 46-51.
5. Кабыш С. Надежность - прежде всего/ С. Кабыш // Сети и телекоммуникации. –2004. —№3.– С. 74-79.
6. Комарницкий Э. И. Надежность работы волоконнооптических сетей связи и оперативное устранение аварий/ Э. И. Комарницкий //LIGHTWAVE Russian Edition. –2005. – №4. – С. 37-43.
7. Каминецкий Илья Семенович. Повышение надежности волоконно-оптических систем передачи со спектральным разделением путем организации резервирования на основе уплотнения по длинам волн : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.13 / Каминецкий Илья Семенович. – Санкт-Петербург, 2007. – 125 с.
8. Голинкевич Т. А. Прикладная теория надежности/Т. А. Голинкевич. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
9. Дмитриев С. А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы / С. А. Дмитриев, Н. Н. Слепов. – М. : Изд. Connect, 2010. – 608 с. – ISBN 978-5-94836-245-8
10. Портнов Э. Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно – оптических линий связи: Учебное пособие для вузов. / Э. Л. Портнов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007. – 464с. – ISBN 5-93517-247-X
11. Слепов Н. Оптические кросс-коммутаторы. Перспективы и развитие / Н. Слепов // Электроника: НТБ. –1999. – №6. – С. 14–19.
12. Цирульник С. М. Архітектура динамічних оптичних оперативних запам'ятовувальних пристроїв на волоконно-оптичних лініях: монографія/ С. М. Цирульник, В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 187с. – ISDN 978-966-641-328-7

Надійшла до редакції 26.10.2010р.

ЦИРУЛЬНИК СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ – к.т.н., відмінник освіти України, голова циклової комісії «Радіотехніка» Вінницького технічного коледжу, старший викладач кафедри обчислювальної техніки, Вінниця, Україна.

ПЕРЕВОЗНИКОВ СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

РОПТАНОВ ВОЛОДИМИР ІЛІЧ – к.т.н, доцент кафедри обчислювальної техніки, заступник завідувача кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

РОПТАНОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ – студент факультету автоматики та комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.