

УДК 621.396.21

М. Климаш, Р. Бурачок

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра телекомунікацій

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ МІСЬКОЇ СИНХРОННОЇ МЕРЕЖІ

© Климаш М., Бурачок Р., 2001

Розглянуто один із способів визначення структурної надійності мереж зв'язку. Проаналізовано структуру діючої аналогово-цифрової та проекрованої синхронної міської мережі Львова, визначено процентне відношення надійності і способи відновлення працездатності у синхронній мережі.

Сьогодні на міських мережах України здебільшого працюють плезіохронні системи передачі (PDH) та електромеханічні, квазіелектронні та електронні системи комутації. Ці мережі побудовані на основі застарілого обладнання і не задовольняють вимоги користувачів щодо ряду послуг і трафік, що постійно зростає. Так, наприклад, у мережі Львова задіяно кілька цифрових систем, які не повністю використовуються за її пропускну здатністю. Ця мережа побудована за радіально-вузловим принципом, граф зображено на рис.1.

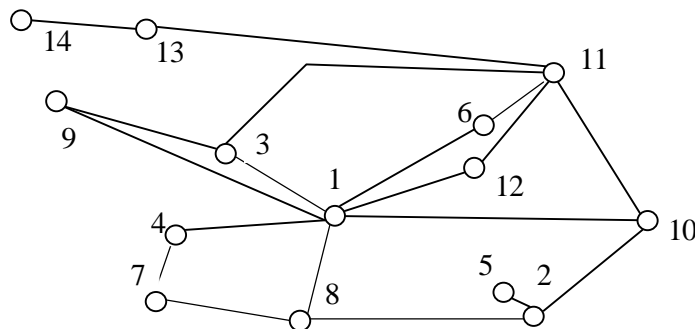


Рис. 1. Схема організації зв'язку міста Львова

Нині ця мережа вже не відповідає вимогам щодо якості зв'язку і не може бути основою для створення єдиної мережі передачі даних. Розвиток цієї мережі в тому напрямку, що і раніше, тобто введення нових вузлів і дуг, буде вимагати залучення значних коштів, що, зрештою, не приведе до якісного покращання ситуації. Для забезпечення вимог щодо якості зв'язку, розширення системи послуг і в майбутньому для створення єдиної мережі передачі даних, сучасну мережу Львова необхідно реконструювати, впроваджуючи цифрові синхронні системи передачі (SDH), оптичні одномодові кабелі і цифрове комутаційне обладнання. Переваги SDH-технології очевидні: можливість надання нових послуг, збільшення пропускну здатності лінійного тракту, прямий одноступеневий доступ до двомегабітного потоку в лінійному синхронному тракту будь-якої інформаційної ємності, що в PDH-мережах було неможливо. В SDH-мережах, на відміну від PDH, вирішено завдання централізованого керування і поточного нагляду за станом всієї мережі.

Крім цих переваг, особливу увагу доцільно приділити такому параметру, як структурна надійність мережі, який є визначальним при порівнянні синхронної і плезіохронної

мереж. Структурна надійність SDH-мереж забезпечує високу надійність функціонування мережі та можливість збереження і відновлення працездатності навіть у разі відмови одного з її елементів або середовища передачі – кабелю.

Існують різні методи забезпечення швидкого відновлення працездатності синхронних мереж, які зводяться до таких схем:

1) резервування ділянок мережі за схемами 1+1 і 1:1 на рознесених трасах. Схема 1+1 передбачає аналіз сигналів і вибирається той, який має кращі співвідношення параметрів; схема 1:1 передбачає призначення пріоритетів альтернативним маршрутам;

2) організація самовідновлюваних кільцевих мереж, резервованих за схемами 1+1 і 1:1. У даному випадку використовується топологія “кільце”, яка може бути організована за допомогою двох волокон (“просте” або здвоєне кільце) або чотирьох волокон (подвійне здвоєне кільце). В останньому випадку є два шляхи захисту даних: перший – пакети даних передаються одночасно в одному напрямку, але різними кільцями, у разі збою в одному кільці дані приймаються з другого; і другий – пакети даних передаються в двох протилежних напрямках, один з яких основний, а другий – резервний, у разі збою відбувається замикання основного і резервного кола на границях пошкодженої ділянки (рис. 2, а) з утворенням нового кільця;

3) резервування термінального обладнання за схемами 1:1 і 1:N. Як правило, цей вид резервування передбачає резервування трибних інтерфейсів;

4) відновлення працездатності мережі шляхом обходу непрацездатного вузла, забезпечується виключенням пошкодженого вузла із схеми функціонування і організацією обхідного шляху (рис. 2, б).

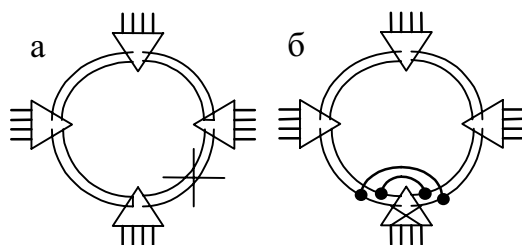


Рис. 2. Методи захисту подвійного кільця:

а) виключенням пошкодженої ділянки; б) організацією обхідного шляху

Саме такі методи захисту інформації та відновлення працездатності планується ввести на SDH-мережі м. Львова. PDH-мережа будується за радіально-вузловим принципом – один вузол має кілька дуг, довільно спрямованих до інших вузлів. Структура синхронної мережі інша: вузол такої мережі має тільки дві дуги (для простого кільця), які з’єднані з двома сусідніми вузлами, або чотири дуги (подвійне кільце), які також під’єднуються до двох сусідніх вузлів і в яких дві дуги працюють на прийом, а дві на передачу. На відміну від простого кільця, подвійне характеризується вищою структурною надійністю і краще відповідає вимогам щодо резервування. Тому організовується подвійне кільце, в якому дуги-кабелі ведуться різними шляхами, що значно підвищує надійність. Саме структуру “подвійне кільце” на основі SDH-технології пропонується ввести для м. Львова із врахуванням вже діючих вузлів-систем комутації (рис. 3).

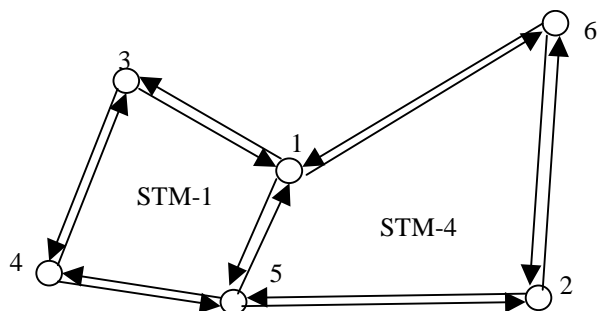


Рис. 3. Схема організації транспортних кілець зв'язку SDH-мережі м. Львова

Отже, структурна надійність мережі зв'язку – це об'єктивна властивість мережі забезпечувати зв'язність користувачів мережі (або вузлів) з якістю, не нижчою, ніж задана. Поряд з характеристикою надійності мережі важливим параметром є живучість. Живучість – це та сама надійність, але остання залежить від зовнішніх впливів – дій людини та довкілля. На практиці надійність та живучість часто об'єднують і цей об'єднаний параметр називають структурною надійністю. Надійність тісно пов'язана із вартістю: дешеві системи менш надійні і навпаки, тобто дешевої і надійної системи не існує.

Головним показником оцінки якості каналу зв'язку є ймовірність зв'язності. У мережах структурна надійність забезпечується можливістю вибору альтернативних шляхів. Тобто чим більша зв'язність мережі, тим вища її надійність. Для будь-яких структур застосовують такі показники надійності:

1) ймовірність парної зв'язності $P(u, v)$ двох заданих вузлів u і v . Зв'язність двох вузлів відзначається, якщо існує хоча б один шлях від вузла u до вузла v , який містить справні вузли і ребра (дуги). В загальному випадку $P(u, v) = P(v, u)$;

2) ймовірність зв'язності вузла з мережею $P(u, U)$. Зв'язність вузла з мережею передбачає наявність парної зв'язності для кожної пари вузлів (u, i) , де $i \in U, i \neq u$;

3) ймовірність повної зв'язності $P(U, U)$. Вона визначає ймовірність того, що між двома довільними вузлами мережі існує хоча б один справний шлях.

Серед цих показників на особливу увагу заслуговує ймовірність парної зв'язності, яка показує ймовірність існування зв'язності між двома конкретно заданими вузлами. Основою для визначення ймовірності парної зв'язності між двома вузлами є ймовірність існування дуги. Розраховуючи надійність, приймають значення ймовірності існування вузла $p_B = 1$, оскільки обладнання вузла кілька разів резервується і несправності швидко усуваються, а ймовірності існування дуги $p_D < 1$. Залежно від місця проходження дуги це значення лежить в межах $0,85 \div 0,999$, в містах воно може сягати від $0,95$ до $0,99$.

Отже, для того, щоб проаналізувати надійність мереж на основі SDH і PDH-технологій, доцільно розрахувати ймовірність парної зв'язності між усіма вузлами мережі. Для цього задаються ймовірністю існування дуги та вузла. За умови, що $p_B = 1$ і $p_D = 0,95$, ймовірність існування парної зв'язності між вузлами буде визначатися виключно ймовірністю існування дуг. В основному, ймовірність парної зв'язності визначає множина шляхів: чим більша кількість різних шляхів, які не перетинаються між собою, тим вище значення ймовірності парної зв'язності. Кожен шлях характеризується ймовірністю справного стану всіх ребер, що утворюють даний шлях, а звідси надійність зв'язку між вузлами a і b є ймовірністю справного стану хоча б одного шляху із існуючої множини.

Отже, ймовірність парної зв'язності визначається так:

1) визначається множина шляхів між двома заданими вузлами, які не перетинаються між собою: $\{\mu\} = \mu_{AB}^j$, де j змінюється від 1 до N , де N – кількість різних шляхів;

2) ймовірність існування маршруту визначається за таким співвідношенням:

$$p_j[I_{ВХ}; I_{ВІХ}] = \prod_{i_{ВХ}=1; i_{ВІХ}=1}^{I_{ВХ}; I_{ВІХ}} p[i_{ВХ}; i_{ВІХ}] \quad (1)$$

де $p[i_{ВХ}; i_{ВІХ}]$ – коефіцієнт готовності j -ї дуги i -го вузла, $I_{ВХ}; I_{ВІХ}$ – початковий і кінцевий вузли маршруту, j – кількість незалежних маршрутів $j \in M$;

3) ймовірність неіснування шляхів:

$$P_{\text{неісн. марш.}}[j] = 1 - p_j[I_{ВХ}; I_{ВІХ}] \quad (2)$$

4) ймовірність відсутності зв'язності:

$$P_{\text{відс. зв'яз.}} = \prod_{i=1}^M (1 - P_{\text{неісн. марш.}}[i]) \quad (3)$$

5) ймовірність існування парної зв'язності між вузлами А і В:

$$P_{AB} = 1 - P_{\text{відс. зв'яз.}} \quad (4)$$

Ймовірність зв'язності вузла з мережею визначається із такого співвідношення:

$$P_{\text{вуз.-мер.}}[I_{ВХ}; I_{ВІХ}] = \left\{ 1 - \prod_{I_{ВІХ}=1}^{I_{ВІХ}=N} (1 - p[I_{ВХ}; I_{ВІХ}]) \right\} \quad (5)$$

$I_{ВХ} = \text{const};$
 $I_{ВІХ} = 1;$
 $I_{ВХ} \neq I_{ВІХ}$

Ймовірність повної зв'язності мережі:

$$P_{\text{пов.}} = \left\{ 1 - \prod_{I_{ВХ}=1}^{I_{ВХ}=N} (1 - P_{\text{вуз.-мер.}}[I_{ВХ}; I_{ВІХ}]) \right\} \quad (6)$$

Згідно із запропонованими співвідношеннями розрахуємо ймовірність парної зв'язності для діючої PDH-мережі, наприклад, між вузлами 1-UTEL 5ESS і 11-ATC-93 5ESS. Згідно із наведеними співвідношеннями $P_{1-11} = 0,9999$.

Аналогічно розрахунок парної зв'язності ведеться і для всіх інших пар вузлів, в результаті отримуємо симетричну матрицю (табл.1), на діагоналі якої є одиниці – ймовірність існування вузла.

Згідно з цією ж методикою розрахуємо парну зв'язність для SDH-мережі, але із врахуванням того, що сусідні вузли з'єднані подвійною дугою, ймовірність існування дуги тут дорівнюватиме не 0,95 і визначатиметься згідно з:

$$p_{\text{п.д.}} = 1 - \prod_{i=1}^{N=2} (1 - p[i]_{\text{д.}}) = 1 - (1 - 0,95) * (1 - 0,95) = 0,9975$$

Подальша послідовність розрахунку залишається незмінною. Ймовірності парної зв'язності для всіх пар вузлів для SDH-мережі наведено в табл.2.

Розраховувати зв'язність вузла з мережею і повну зв'язність недоцільно, якщо ймовірність існування дуги є вищою за 0,9.

Таблиця 1

Ймовірності парної зв'язності між вузлами мережі PDH

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0,99	0,99	0,99	0,85	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,85	0,81
2	0,99	1	0,97	0,97	0,95	0,97	0,98	0,99	0,97	0,99	0,98	0,97	0,85	0,81
3	0,99	0,97	1	0,97	0,81	0,99	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,90	0,85
4	0,99	0,97	0,97	1	0,81	0,97	0,99	0,99	0,97	0,98	0,96	0,97	0,81	0,77
5	0,85	0,95	0,81	0,81	1	0,81	0,85	0,9	0,81	0,90	0,85	0,81	0,81	0,77
6	0,99	0,97	0,99	0,97	0,81	1	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,90	0,85
7	0,99	0,98	0,97	0,99	0,85	0,96	1	0,99	0,97	0,97	0,96	0,96	0,77	0,73
8	0,99	0,99	0,99	0,99	0,90	0,98	0,99	1	0,97	0,99	0,99	0,97	0,81	0,77
9	0,99	0,97	0,99	0,97	0,81	0,98	0,97	0,97	1	0,98	0,98	0,98	0,85	0,81
10	0,99	0,99	0,99	0,98	0,90	0,99	0,97	0,99	0,98	1	0,99	0,99	0,9	0,85
11	0,99	0,98	0,99	0,96	0,85	0,99	0,96	0,99	0,98	0,99	1	0,99	0,95	0,9
12	0,99	0,97	0,99	0,97	0,81	0,99	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1	0,9	0,85
13	0,85	0,85	0,9	0,81	0,81	0,9	0,77	0,81	0,85	0,9	0,95	0,9	1	0,95
14	0,81	0,81	0,85	0,77	0,77	0,85	0,73	0,77	0,81	0,85	0,9	0,85	0,95	1

Таблиця 2

Ймовірності парної зв'язності між вузлами мережі SDH

	1	2	3	4	5	6
1	1	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
2	0,9999	1	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3	0,9999	0,9999	1	0,9999	0,9999	0,9999
4	0,9999	0,9999	0,9999	1	0,9999	0,9999
5	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	1	0,9999
6	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	1

Отже, на підставі даних матриць видно, що мережа SDH характеризується значно вищою структурною надійністю. Ймовірність парної зв'язності між двома найвіддаленішими вузлами SDH-мережі: 4-АТС-62 і 6-АТС-93 5ESS, становить 0,99997, а між вузлами PDH-мережі: 1-UTEL 5ESS і 11-АТС-93 5ESS, – 0,9999 і це за умови, що між цими вузлами є чотири незалежні маршрути. Крім високої структурної надійності, мережа SDH має вищі пропускні здатності, малий час затримки, гнучкість в керуванні і дає можливість подальшого її нарощування.

Висновки

Запропонована мережа на основі синхронних цифрових систем побудована за топологією коміркових подвійних кілець, має вищі значення показника структурної надійності, ніж діюча плезіохронна. SDH-мережа дає можливість збільшити кількість

абонентів міста та обсяг наданих послуг. Запропонована мережа на основі потоків STM-1 і STM-4 сьогодні задовольняє вимоги щодо пропускної здатності та дає можливість її модернізації із збільшенням потоків відповідно до STM-4 і STM-16 у вузлах і використання резервних оптичних волокон магістральних кабелів або резервного кільця при різкому зростанні навантаження мережі в часи “пік”.

1. Слепов Н. Н. *Принципы плезмохронной и синхронной цифровых иерархий (PDH и SDH). Сети, 1995, №9. С. 90-101.* 2. Слепов Н.Н. *Синхронные цифровые сети. Nokia Telecommunications. М., 1998. С. 140-152.* 3. *ITU-T Recommendation G.782. Types and General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Equipment (1990, Revised 1.94).* 4. *ITU-T Recommendation G.783. General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Multiplexing Equipment (1990, Revised 1.94).*

УДК. 621.3.019.3(075)

О. Лазько, Л. Недоступ, Ю. Бобало

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

ОЦІНКА БЕЗВІДМОВНОСТІ СУМІСНОЇ РОБОТИ КОМПОНЕНТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

© Лазько О., Недоступ Л., Бобало Ю., 2001

Обґрунтовано підхід до розв’язання задачі оцінки безвідмовності при сумісній роботі компонентів. Запропоновано вирази для визначення ймовірності відмови при різноманітних комбінаціях розподілів вхідних та вихідних параметрів.

Безвідмовність при сумісній роботі компонентів системи забезпечується певними співвідношеннями їх вхідних і вихідних параметрів (рис.1). Залежно від особливостей їх сумісного функціонування ці співвідношення можуть визначатися рядом умов, наприклад [1]:

$$\begin{aligned} X_{\text{ВИХ } K-1} &< X_{\text{ВХ } K}; \\ X_{\text{ВИХ } K-1} &\approx X_{\text{ВХ } K}; \\ X_{\text{ВИХ } K-1} &> X_{\text{ВХ } K}. \end{aligned} \quad (1)$$

Виконання задачі забезпечення безвідмовності сумісно працюючих компонентів у процесі проектування та виготовлення оцінюється відповідними ймовірностями:

$$\begin{aligned} P_{\text{ВЗ}} &= P(X_{\text{ВИХ } K-1} < X_{\text{ВХ } K}), \\ P_{\text{ВЗ}} &= P(X_{\text{ВИХ } K-1} \approx X_{\text{ВХ } K}), \\ P_{\text{ВЗ}} &= P(X_{\text{ВИХ } K-1} > X_{\text{ВХ } K}), \end{aligned}$$

за загальних умов

$$\begin{aligned} \forall X_{\text{ВИХ } K-1} &\in \{X_{\text{ВИХ } K-1}^{\text{Д}}\} \\ \forall X_{\text{ВХ } K} &\in \{X_{\text{ВХ } K}^{\text{Д}}\} \end{aligned}$$

де $X_{\text{ВИХ } K-1}^{\text{Д}}$ і $X_{\text{ВХ } K}^{\text{Д}}$ – допустимі значення параметрів.