

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування

Здобувач _____ / **Маслова С.В.** /
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ / **Штих І.А.** /
(підпис) (прізвище та ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ інфокомунікацій _____
Кафедра _____ інформаційно-мережної інженерії _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 172 Телекомунікації та радіотехніка _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма _____ інформаційно-мережна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Масловій Світлані Віталіївні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження залежності структурної надійності мережі від її топології

затверджена наказом університету від 23 травня 2025 р. № 410 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 18 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Провести аналіз особливостей розрахунку структурної надійності мереж.

Розробити розрахунки структурної надійності мереж для різних топологій – простих та складних.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Надійність функціонування телекомунікаційних мереж

2. Дослідження структурної надійності

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Слайди у форматі Power Point (назва та мета роботи, структурна надійність мереж, лінійна топологія, топологія «зірка», топологія «дерево»/ієрархічна, кільцева топологія, коміркова топологія, гібридна топологія (М-структура), повнозв'язна топологія, порівняльний аналіз, висновки)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	23.05.2025	вик.
2	Підбір літератури за темою роботи	24.10.-38.05.2025	вик.
3	Надійність функціонування телекомунікаційних мереж	29.05.-02.06.2025	вик.
4	Дослідження структурної надійності	03.06.2024-14.06.2025	вик.
5	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	15.06.-16.06.2025	вик.

Дата видачі завдання 23 травня 2025 р.

Здобувач _____ Світлана Маслова
(підпис)

Керівник роботи _____ ас. Інна Штих
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 51 с., 32 рис., 1 табл., 3 джерела, 2 додатки.

Мета роботи – дослідити, як топологія мережі впливає на її структурну надійність, шляхом аналізу різних типів мережних структур (кільцева, зіркоподібна, деревоподібна, повнозв'язна тощо).

Об'єкт дослідження – різні види топологій, від простих до складних.

У процесі проектування інформаційних, енергетичних чи логістичних мереж важливо забезпечити високу надійність їх функціонування. Один із ключових чинників, що визначає надійність мережі, — її топологічна структура. Розуміння взаємозв'язку між топологією та структурною надійністю дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо архітектури мережі, знижуючи ризики простоїв, збоїв і втрат. Особливо це важливо в критичних сферах — охороні здоров'я, енергетиці, фінансах та обороні. Враховуючи зростання складності сучасних мереж, актуальним є проведення глибокого аналізу топологічних впливів на їхню надійність із використанням сучасних математичних і програмних засобів.

СТРУКТУРНА НАДІЙНІСТЬ, ТОПОЛОГІЯ, КОЕФІЦІЄНТ ГОТОВНОСТІ, НАДІЙНІСТЬ, СТРУКТУРА, АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ

THE ABSTRACT

Explanatory note: 51 p., 32 fig, 1 tabl., 3 sources, 2 app.

The purpose of the work is to investigate how the network topology affects its structural reliability by analyzing different types of network structures (ring, star, tree, fully connected, etc.).

The object of the study is a variety of topologies, from simple to complex.

In the process of designing information, energy or logistics networks, it is important to ensure high reliability of their operation. One of the key factors determining the reliability of the network is its topological structure. Understanding the relationship between topology and structural reliability allows you to make informed decisions regarding network architecture, reducing the risks of downtime, failures and losses. This is especially important in critical areas - healthcare, energy, finance and defense. Given the increasing complexity of modern networks, it is relevant to conduct a deep analysis of topological influences on their reliability using modern mathematical and software tools.

STRUCTURAL RELIABILITY, TOPOLOGY, AVAILABILITY FACTOR,
RELIABILITY, STRUCTURE, NETWORK ARCHITECTURE

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 НАДІЙНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ..	10
1.1 Апаратурна надійність мережних систем	10
1.2 Структурна надійність мереж.....	12
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ.....	16
2.1 Мета дослідження	16
2.2 Лінійна топологія	17
2.3 Топологія «зірка»	18
2.3 Топологія «дерево»/ієрархічна	19
2.4 Кільцева топологія	21
2.5 Коміркова топологія	22
2.6 Гібридна топологія (М-структура).....	28
2.7 Повнозв'язна топологія	39
ВИСНОВКИ.....	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	42
ДОДАТОК А	43
ДОДАТОК Б	44

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

M-structure – Multidivisional Structure – організаційна структура, у якій компанія поділена на незалежні підрозділи;

НКД – найкоротше дерево.

ВСТУП

У сучасному цифровому світі мережеві технології стали основою функціонування більшості систем – від побутових пристроїв до критично важливої інфраструктури. Зростаюча залежність від мережевих з'єднань висуває підвищені вимоги до їхньої стабільності та безперебійної роботи. У цьому контексті надійність мереж є ключовим показником, що визначає здатність мережі забезпечувати стабільну передачу даних, зберігати працездатність в умовах зовнішніх впливів, перевантажень або часткових відмов обладнання.

Надійна мережа є основою для ефективної роботи підприємств, безпеки комунікацій, розвитку хмарних технологій, інтернету речей та цифрових сервісів. Тому вивчення аспектів надійності, включаючи її структурні, функціональні та часові компоненти, є важливим етапом у проектуванні сучасних інформаційно-комунікаційних систем.

Одним із ключових аспектів є структурна надійність, яка відображає стійкість мережі до відмов її окремих елементів – вузлів або каналів зв'язку – з точки зору її архітектури. Вона аналізує, наскільки добре спроектована мережа з урахуванням резервування, топології та можливості збереження з'єднання між компонентами навіть у разі збоїв.

Вивчення структурної надійності дозволяє оцінити ефективність обраної мережної конфігурації, визначити слабкі місця у структурі та обґрунтувати необхідність удосконалення інфраструктури. Це особливо актуально в умовах зростання обсягів переданих даних, підвищених вимог до безперервності сервісів та кіберзагроз. Надійна структура мережі є запорукою її безпечного, ефективного та стабільного функціонування.

1 НАДІЙНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Надійністю будь-якої системи називається здатність виконувати нею певні функції в певних умовах експлуатації. Для мереж, що є складними багатофункціональними системами, які складаються з елементів, різнорідних за своїми властивостям, можна виділити два основних аспекти надійності: апаратурний і структурний. Під апаратурним аспектом розуміється проблема надійності окремих систем у мережних пунктах і трактах. Структурний аспект пов'язаний з можливістю існування в мережі шляхів доставки інформації між заданою парою пунктів, тобто надійності зв'язку між пунктами, вважаючи, що відомі показники апаратурної надійності мережних систем [1].

1.1 Апаратурна надійність мережних систем

При аналізі апаратурної надійності залежно від призначення мережної системи, виконуваних нею функцій і умов експлуатації, розрізняють декілька властивостей [2]:

– працездатність як властивість системи виконувати задані функції зі збереженням основних параметрів у межах, установлених нормативно-технічною документацією [2];

– безвідмовність як властивість системи безупинно зберігати свою працездатність [2];

– довговічність як властивість системи зберігати працездатність до певного стану [2];

– можливість збереження (термін служби) як властивість системи зберігати значення показників її якості в заданих межах після зберігання або експлуатації [2];

– справність як властивість системи відповідати всім вимогам нормативно-технічної документації [2];

- несправність (відмова) як властивість системи, при якому вона не відповідає всім вимогам нормативно-технічної документації [2];
- можливість відновлення, як властивість забезпечення можливості відновлення працездатності системи після відмови [2];
- ремонтпридатність як властивість системи забезпечення можливості її ремонту й технічного обслуговування [2].

Залежно від призначення конкретних мережних систем і умов їхньої експлуатації ці властивості можуть мати різну відносну значимість [2].

При аналізі апаратурної надійності, формулюванні вимог до неї для мережних систем, їхньому порівнянні за надійністю тощо. використовуються кількісні характеристики – показники надійності. Розрізняють часткові та комплексні показники надійності мережних систем [2].

Часткові показники характеризують тільки одну з перерахованих вище властивостей, наприклад, працездатність, безвідмовність тощо.

Серед різних типів надійності – функціональної, часової, апаратурної та інших – структурна надійність відіграє ключову роль, оскільки визначає здатність системи зберігати працездатність при відмові окремих її компонентів. Вона залежить від архітектури мережі, резервування, типу з'єднань та конфігурації обладнання [2].

На відміну від часової надійності, яка характеризує стабільність роботи в певний проміжок часу, або функціональної – що описує відповідність системи заданим вимогам, структурна надійність забезпечує загальну стійкість системи до фізичних та логічних збоїв [2].

Таким чином, структурна надійність є основою побудови відмовостійких мереж і систем, дозволяючи зменшити ризики повної відмови та забезпечити безперервність критично важливих процесів. Вона є невід'ємним чинником при проектуванні надійних інформаційних інфраструктур [2].

1.2 Структурна надійність мереж

При зв'язку між мережними пунктами v_i та v_j використовуються всі можливі шляхи або обрана по якій-небудь ознаці їхня множина $M_{i,j}$. Кожний шлях k -й шлях $m_{i,j}^k$ з множини шляхів $M_{i,j}$ від v_i до v_j складається з ребер і вузлів, через які він проходить. Під показником структурної надійності цього шляху розуміється ймовірність того, що даний шлях у довільний момент часу перебуває в працездатному стані, тобто коефіцієнт готовності $k_r(m_{i,j}^k)$. Це означає, що працездатними повинні бути всі ребра u_ξ й вузли v_η , що входять у цей шлях. Структурна надійність зв'язку від v_i до v_j оцінюється ймовірністю працездатного стану хоча б одного шляху з множини $M_{i,j}$, тобто коефіцієнтом готовності $k_r(M_{i,j})$ [3].

Розглянемо розв'язання задачі аналізу структурної надійності зв'язку в мережі між вузлами v_i й v_j , якщо відома множина $M_{i,j}$ шляхів, які можуть бути використані для цього зв'язку, і задана надійність всіх ребер мережі, що утворять ці шляхи [3].

Якщо окремі елементи шляху (їхні ділянки або ребра) утворять паралельно - послідовну структуру, тобто з'єднані послідовно або паралельно, то можна використовувати зазначені вище методи аналізу надійності систем з таким з'єднанням елементів. При послідовному з'єднанні ребер u_ξ з коефіцієнтами готовності $k_r(u_\xi)$ можна скористатися формулою [3]:

$$k_r(m_{i,j}^k) = \prod_{\forall u_\xi \in m_{i,j}^k} k_r(u_\xi), \quad (1.1)$$

а при паралельному – формулою [3]

$$k_{\Gamma}(m_{i,j}^k) = 1 - \prod_{\forall u_{\xi} \in m_{ij}^k} (1 - k_{\Gamma}(u_{\xi})). \quad (1.2)$$

Якщо ж у графі мережі є місткові з'єднання (рис. 1.1), то ці методи використовувати не можна. Тому розглянемо методи, які можуть бути використані при аналізі структурної надійності зв'язків у складних мережах.

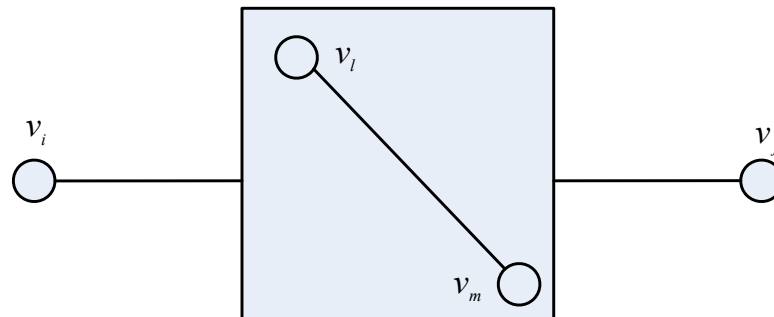


Рисунок 1.1 – До розрахунку структурної надійності мережі з містковими з'єднаннями

Одним з методів розрахунку надійності зв'язку між вузлами v_i й v_j для складної структури є метод послідовного розкладання структури, заснований на тій властивості, що надійність структури (рис. 1.1), що включає ребро $u_{l,m}$ з коефіцієнтом готовності $k_{\Gamma}(u_{l,m})$, дорівнює [3]

$$k_{\Gamma}(M_{i,j}) = k_{\Gamma}(u_{l,m})k_{\Gamma}(M_{i,j} / u_{l,m} = 1) + [1 - k_{\Gamma}(u_{l,m})]k_{\Gamma}(M_{i,j} / u_{l,m} = 0), \quad (1.3)$$

де $k_{\Gamma}(M_{i,j} / u_{l,m} = 1)$ – надійність зв'язку, у якій ребро $u_{l,m} = 1$, тобто злиті вузли v_l й v_m ;

$k_{\Gamma}(M_{i,j} / u_{l,m} = 0)$ – те ж для мережі при $u_{l,m} = 0$, тобто з мережі вилучене ребро $u_{l,m}$.

Розкладання (винос ребер) виробляється доти, поки структури, що залишилися, не будуть паралельно-послідовними. Якщо після розкладання по

одному ребру отримані структури залишаються містковими, то їх розкладають далі. Не можна розкласти структуру по спрямованому ребру, якщо при його заміні ненаправленим ребром з'являються нові шляхи [3].

Метод послідовних розкладань дозволяє визначити потенційну надійність зв'язку між заданими вузлами у вигляді функції або числового значення.

Наведемо приклад розв'язання задачі, де необхідно визначити надійність зв'язку між пунктами (вузлами) v_1 і v_3 мережі, граф якої зображений на рис. 1.2, використовуючи позначення $k_{\Gamma a}$, $k_{\Gamma b}$, $k_{\Gamma c}$, $k_{\Gamma d}$, $k_{\Gamma e}$ для коефіцієнтів готовності його ребер a , b , c , d , e , відповідно.

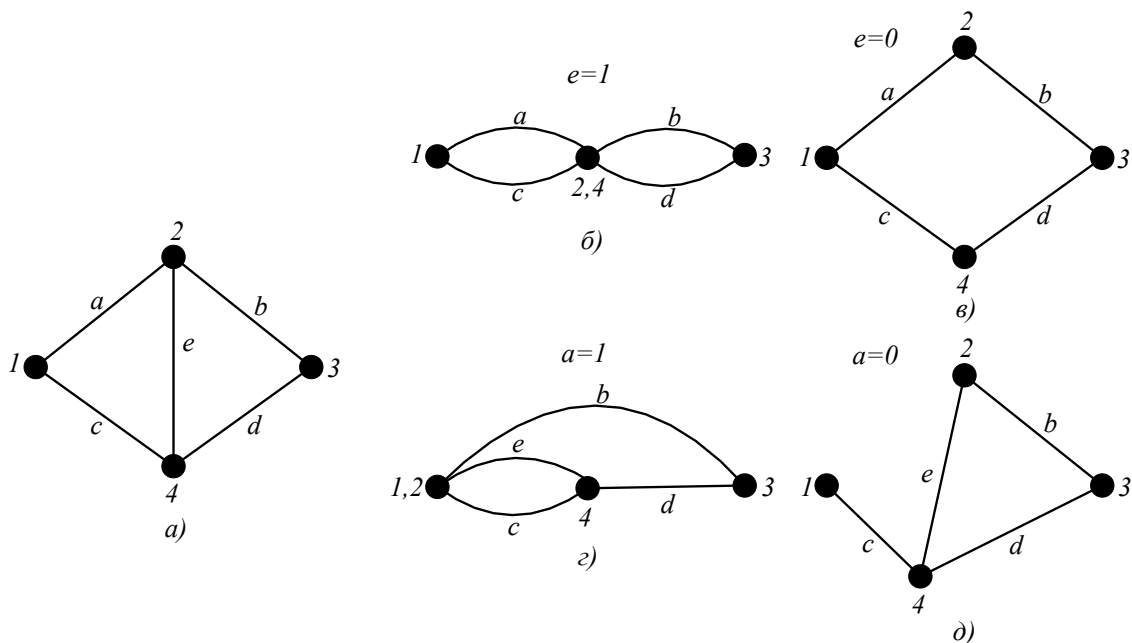


Рисунок 1.2 – Перетворення місткового графа мережі

Для місткової мережі (рис. 1.2, а) при $e=1$ одержимо схему, показану на рис. 1.2 б, а $e=0$ – на рис. 1.2, в. Для них імовірність збереження зв'язності перебуває по звичайних формулах додавання й множення ймовірностей:

$$k_{\Gamma}(M_{1,3}/e=1) = (k_{\Gamma a} + k_{\Gamma c} - k_{\Gamma a}k_{\Gamma c})(k_{\Gamma b} + k_{\Gamma d} - k_{\Gamma b}k_{\Gamma d}),$$

$$k_{\Gamma}(M_{1,3}/e=0) = k_{\Gamma a}k_{\Gamma b} + k_{\Gamma c}k_{\Gamma d} - k_{\Gamma a}k_{\Gamma b}k_{\Gamma c}k_{\Gamma d}.$$

Надійність між пунктами v_1 та v_3 :

$$\begin{aligned} k_{\Gamma}(M_{1,3}) &= k_{\Gamma e}(k_{\Gamma a} + k_{\Gamma c} - k_{\Gamma a}k_{\Gamma c})(k_{\Gamma b} + k_{\Gamma d} - k_{\Gamma b}k_{\Gamma d}) + (1 - k_{\Gamma e})(k_{\Gamma a}k_{\Gamma b} + k_{\Gamma c}k_{\Gamma d} - \\ &- k_{\Gamma a}k_{\Gamma b}k_{\Gamma c}k_{\Gamma d}) = k_{\Gamma a}k_{\Gamma b} + k_{\Gamma c}k_{\Gamma d} + k_{\Gamma a}k_{\Gamma d}k_{\Gamma e} + k_{\Gamma b}k_{\Gamma c}k_{\Gamma e} - k_{\Gamma b}k_{\Gamma c}k_{\Gamma d}k_{\Gamma e} - \\ &- k_{\Gamma a}k_{\Gamma c}k_{\Gamma d}k_{\Gamma e} - k_{\Gamma a}k_{\Gamma b}k_{\Gamma d}k_{\Gamma e} - k_{\Gamma a}k_{\Gamma b}k_{\Gamma c}k_{\Gamma e} - k_{\Gamma a}k_{\Gamma b}k_{\Gamma c}k_{\Gamma d} + 2k_{\Gamma a}k_{\Gamma b}k_{\Gamma c}k_{\Gamma d}k_{\Gamma e}. \end{aligned}$$

Якщо вважати, що $k_{\Gamma a} = k_{\Gamma b} = k_{\Gamma c} = k_{\Gamma d} = k_{\Gamma e} = k_{\Gamma}$, то

$$k_{\Gamma}(M_{1,3}) = 2k_{\Gamma}^2 + 2k_{\Gamma}^3 - 5k_{\Gamma}^4 + 2k_{\Gamma}^5.$$

Вибір ребра, по якому робиться розкладання, неоднозначний. Так містковий граф мережі на рис. 1.2, а може бути розкладений по іншому ребру, що приведе до схем, показаних на рис. 1.2, г, д.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ

2.1 Мета дослідження

Метою даного дослідження є оцінка структурної надійності комп'ютерної мережі шляхом математичного моделювання та проведення відповідних розрахунків, що дозволять:

- виявити потенційні вразливості;
- проаналізувати стійкість мережної структури до відмов окремих елементів;
- розробити рекомендації щодо підвищення її загальної надійності.

Етапи розрахунку структурної надійності мережі:

- аналіз структури мережі: ідентифікація типу мережної топології (лінійна, зіркоподібна, кільцева, деревоподібна, сітчаста тощо); визначення вузлів (комп'ютери, сервери, маршрутизатори) та з'єднань між ними;
- побудова графічної моделі мережі: представлення мережі у вигляді неорієнтованого або орієнтованого графа; вузли графа – мережні пристрої; ребра – канали зв'язку;
- вибір показника надійності: коефіцієнт структурної надійності; імовірність збереження зв'язності мережі; показник доступності мережі;
- розрахунок для простої топології: припущення про ймовірність відмови елементів (вузлів/ребер); оцінка впливу кожного елемента на загальну надійність; використання бінарних методів аналізу надійності (0 – елемент несправний, 1 – справний); приклад: зіркова топологія – мережа стає недоступною при відмові центрального вузла.
- розрахунок для мереж середньої складності: врахування резервування каналів та вузлів; аналіз усіх можливих комбінацій відмов; застосування методів мінімальних шляхів або мінімальних відсічень;

– розрахунок для складних сітчастих топологій: використання методу Монте-Карло або систем логічного моделювання; автоматизоване моделювання ймовірностей відмов за допомогою програмних інструментів; врахування одночасних та залежних відмов, навантаження, швидкості реакції системи;

– оцінка результатів та оптимізація: пошук критичних елементів (ті, що найбільше знижують надійність); рекомендації щодо резервування, покращення структури або заміни обладнання.

Розрахунки будуть проводитись для топологій різної складності – від простих до складних. Топології будуть представлені у вигляді неорієнтованих графів, оскільки канали зв'язку (ребра) матимуть дуплексний режим, також вважатимемо всі ребра рівноправними і вони матимуть однакове значення коефіцієнту готовності $k_G = 0,91$ або працездатністю в 91%, кількість вершин в графах –10.

2.2 Лінійна топологія

Простіше за лінійну топології не існує, вона складається з послідовно з'єднаних вершин. Для розрахунку скористаємось формулою (1.1) для двох варіантів: розрахуємо коефіцієнту готовності, при врахуванні частини вершин (рис. 2.1-2.2) та всіх (рис. 2.3).

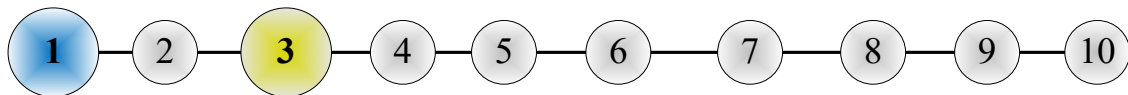


Рисунок 2.1 – Лінійна топологія

$$k_G(M_{1,3}) = k_{G1,3} \cdot k_{G1,3} = k_G^2 = 0,91^2 = 0,828. \quad (2.1)$$

Формула (2.1) демонструє, що при проходженні лише двох ребер, коефіцієнт готовності знизився в порівняння з k_G ребра.

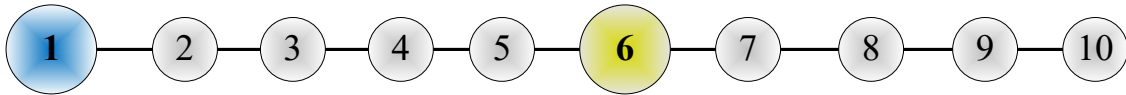


Рисунок 2.2 – Лінійна топологія

$$k_{\Gamma}(M_{1,6}) = k_{\Gamma1,2} \cdot k_{\Gamma2,3} \cdot k_{\Gamma3,4} \cdot k_{\Gamma4,5} \cdot k_{\Gamma5,6} = k_{\Gamma}^5 = 0,91^5 = 0,62. \quad (2.2)$$

З розрахунку видно, що не дивлячись на те, який високий коефіцієнт готовності ребра, структурна надійність розрахованого маршруту куди нижча.

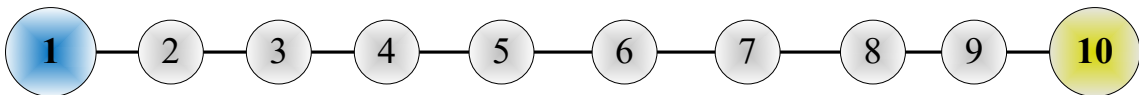


Рисунок 2.3 – Лінійна топологія

$$k_{\Gamma}(M_{1,10}) = k_{\Gamma1,2} \cdot k_{\Gamma2,3} \cdot k_{\Gamma3,4} \cdot k_{\Gamma4,5} \cdot k_{\Gamma5,6} \cdot k_{\Gamma6,7} \cdot k_{\Gamma7,8} \cdot k_{\Gamma8,9} \times \\ \times k_{\Gamma9,10} = k_{\Gamma}^9 = 0,91^9 \approx 0,428. \quad (2.3)$$

З формули (2.3) очевидно, що при збільшені вершин в маршруті, структурна надійність зменшується, що не дуже добре, оскільки при побудові мережі необхідно враховувати той факт, що з часом потрібно додавати користувачів мережі.

2.3 Топологія «зірка»

Представимо графічно топологію «зірка» (рис. 2.3) та розрахуємо для неї коефіцієнт готовності. Як в попередньому випадку, декілька варіантів розрахунку не потрібно, оскільки всі маршрути в даній топології однакові і складаються з трьох послідовно з'єднаних вершин.

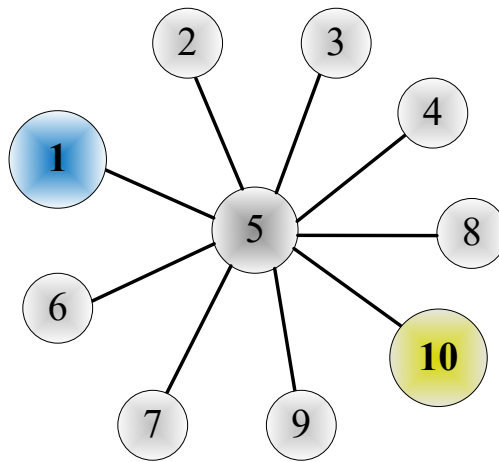


Рисунок 2.4 – Топологія «зірка»

$$k_G(M_{1,10}) = k_{G1,5} \cdot k_{G5,10} = k_G^2 = 0,91^2 = 0,828. \quad (2.4)$$

Даний розрахунок (2.4) співпадає зі значенням (2.1) лінійної топології, бо так само має лише два ребра при проходженні маршруту. Як було вже відмічено, всі маршрути в даній топології однакові і їхня надійність складатиме 82,8%, що досить непогано, за умови повноцінної працездатності вершин (апаратної частини мережі).

2.3 Топологія «дерево»/ієрархічна

Перш ніж приступити до розрахунку, необхідно визначитися з поняттями: топологія «дерево» та ієрархічна топологія.

Топологія «дерево» (в контексті графів) (рис. 2.5) – мережна топологія, в якій всі вершини та ребра між собою рівноправні. А розглядаючи топологію з точки зору реальної мережі, то в такій мережі є ієрархія вершин (маршрутизатори, комутатори, концентратори – їхня роль в мережі різна за функціональністю), то дана топологія «дерево» перетворюється в ієрархічну структуру (схожу на дерево: один центральний (кореневий) вузол, до якого під'єднані інші вузли – як гілки дерева) або ієрархічну топологію (рис. 2.6).

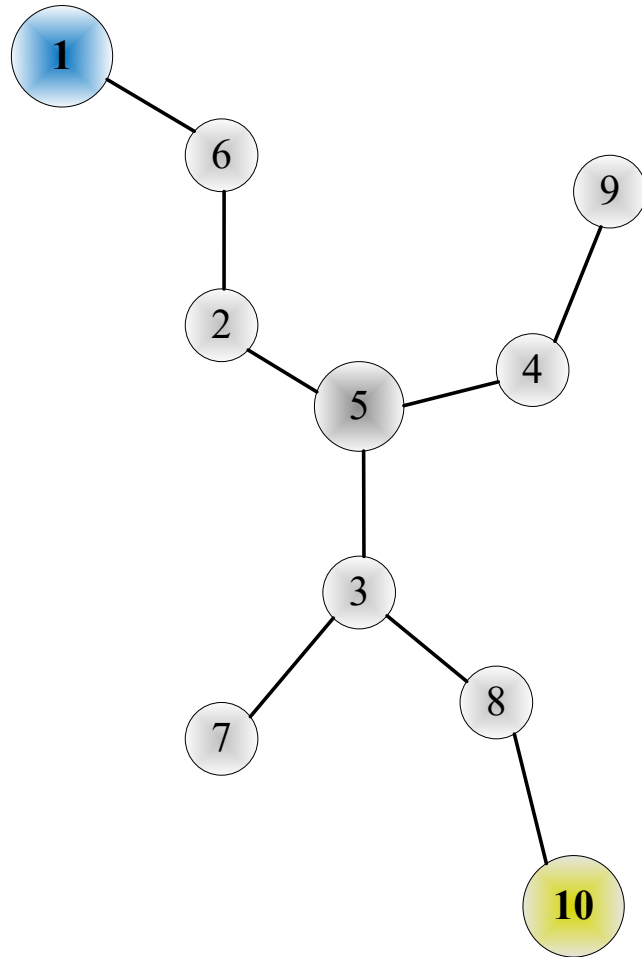


Рисунок 2.5 – Топологія «дерево»

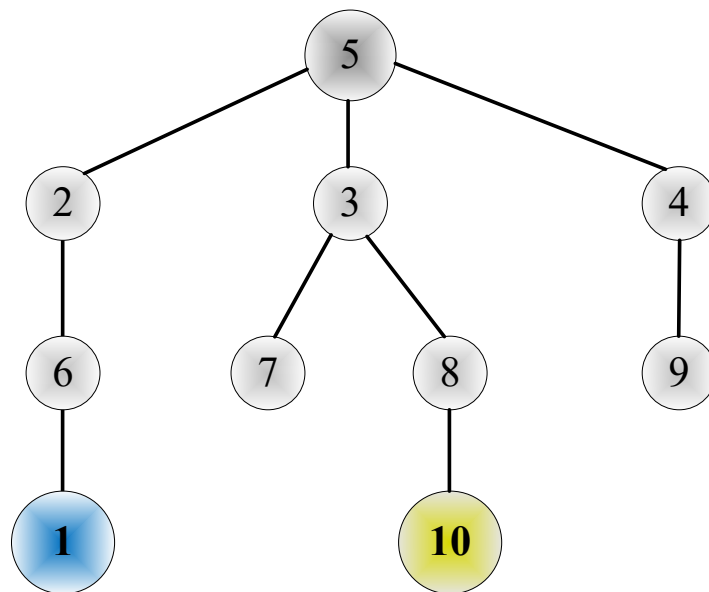


Рисунок 2.6 – Ієрархічна топологія

Оскільки необхідно розрахувати структурну надійність, яка враховує значення ребер, а не апаратну – значення вершин, то на розрахунок не впливає різне графічне подання цих двох топологій.

$$k_G(M_{1,10}) = k_{G1,6} \cdot k_{G6,2} \cdot k_{G2,5} \cdot k_{G5,3} \cdot k_{G3,8} \cdot k_{G8,10} = k_G^6 = 0,91^6 \approx 0,568. \quad (2.5)$$

Для розрахунку використали формулу (1.1), для послідовного з'єднання. Зі збільшенням кількості ребер коефіцієнт готовності зменшується. Порівнюючи розрахунки (2.2) з (2.5) – дана залежність очевидна: при 5 ребрах коефіцієнт готовності 62%, то при 6 ребрах лише 56,8%. Але як і в лінійній топології, так і в топології «дерево» є маршрути різної довжини, відповідно і їхня структурна надійність буде різною.

Як бачимо, для цих трьох видів топологій (лінійна, «зірка», «дерево») було використано лише формулу (1.1) для послідовного з'єднання, на основі якої розрахунки не достатньо вражаючі.

2.4 Кільцева топологія

Кільцева топологія (рис. 2.7) відноситься до категорії простих, але на відміну від лінійної, «зірки» та «дерева» є одна суттєва відмінність – відсутність висячих вершин (висяча вершина – вершина, яка з'єднана з суміжньою лише одним ребром), а від так в топології «кільце» всі вершини мають коефіцієнт зв'язності – 2, і робить її трохи надійнішою.

Для розрахунку даної топології використаємо формулу (1.2) для паралельного з'єднання в комбінації з (1.1).

$$k_G(M_{1,10}) = 1 - (1 - k_{G1,2} \cdot k_{G2,3} \cdot k_{G3,4} \cdot k_{G4,8} \cdot k_{G8,10}) \cdot (1 - k_{G1,6} \times k_{G6,8} \cdot k_{G8,7} \cdot k_{G7,9} \cdot k_{G9,10}) = 1 - (1 - k^5) \cdot (1 - k^5) \approx 0,859. \quad (2.6)$$

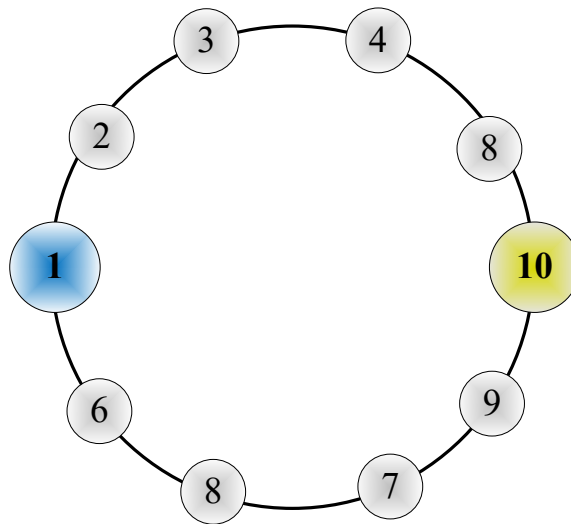


Рисунок 2.7 – Кільцева топологія

В порівнянні з попередніми розрахунками, дійсно структурна надійність кільцевої топології має кращий показник і що найголовніше, таке значення буде для будь-якої пари вершин та складатиме – 85,9%.

2.5 Коміркова топологія

Коміркові, гібридні та повнозв'язні топології бажано графічно представляти опуклими графами, коли на рисунку відсутні перетини ребер, це краще для сприйняття та подальшого розрахунку структурної надійності. Такі топології є містковими і для їхнього розрахунку будуть задіяні всі три формули (1.1-1.3) – для послідовного, паралельного та місткового з'єднання. Граф необхідно розкласти на більш прості доти, доки не зможемо з легкістю сказати, що кожен маршрут – послідовний, паралельний чи паралельно-послідовний.

На рис. 2.8 представлено коміркову топологію, вона нагадує кільцеву топологію з додатковими ребрами, які, власне кажучи, і утворюють комірки. Таким чином, наперед можна сказати, що така топологія матиме структурну надійність більше 86%. Припущення логічне, але для достовірності зробимо розрахунок, який підтвердить або спростує це припущення.

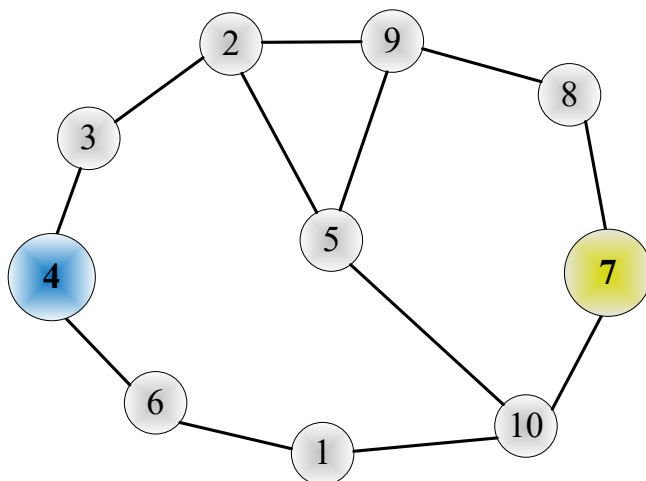
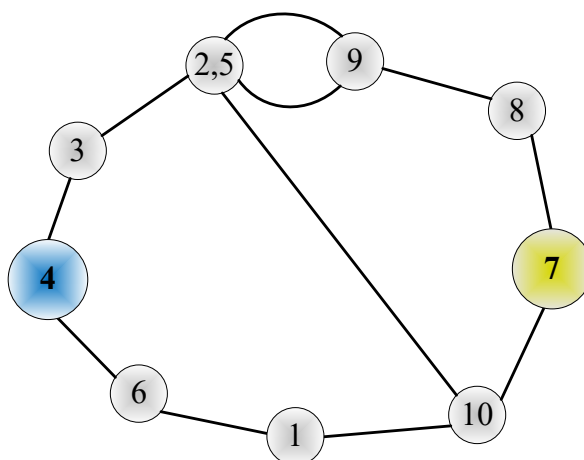


Рисунок 2.8 – Коміркова топологія

Для початку обираємо ребро, яке виступатиме в якості перемички (перемичка – ребро, яке заважає у визначенні який саме цей маршрут – послідовний, паралельний чи паралельно-послідовний). Головне правило – по одній перемичці за раз можна розкласти граф, інакше розрахунок буде невірним.

Перемичкою виступатиме ребро $u_{2,5}$ – між вершиною 2 та 5, відповідно до цього буде два графи, коли: коефіцієнт містка $u_{2,5}$ рівний одиниці (рис. 2.9) та коефіцієнт містка $u_{2,5}$ рівний нулю (рис. 2.10).

Рисунок 2.9 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,5}$ рівним одиниці

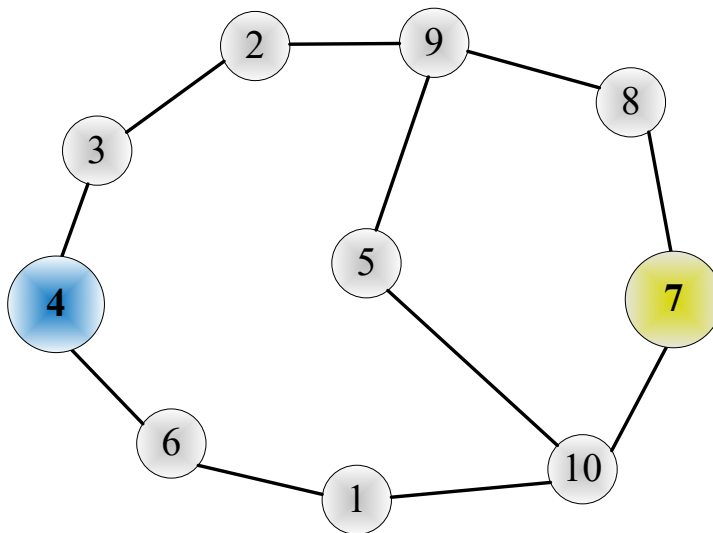


Рисунок 2.10 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,5}$ рівним нулю

Новоутворені графи (рис. 2.9-2.10) все ще залишаються містковими, оскільки досі складно з впевненістю сказати, які між собою утворені маршрути між вершинами 4 та 7. Тому продовжуємо розкладати граф (рис. 2.8) за новою перемичкою $u_{2,5,10}$. Маємо нову пару графів – рис. 2.11 та 2.12, які є достатньо простими для чіткого ствердження про вид маршрутів і до цих графів можемо робити відповідні розрахунки, які увійдуть до загальної формули на основі (1.3).

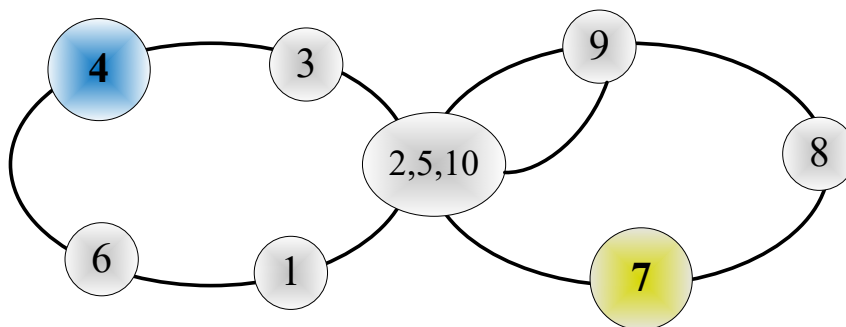


Рисунок 2.11 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,5,10}$ рівним одиниці

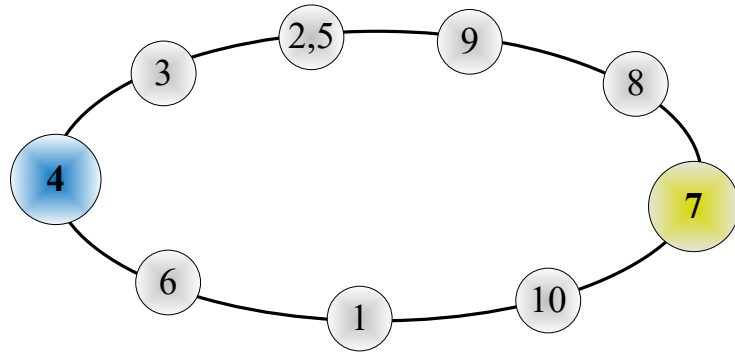


Рисунок 2.12 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,5,10}$ рівним нулю

Продовжуємо аналогічне розкладання графа (рис. 2.9) за новою перемичкою $u_{7,10}$. Маємо нову пару графів – рис. 2.13 та 2.14, які також є достатньо простими для чіткого ствердження про вид маршрутів і до цих графів можемо робити відповідні розрахунки.

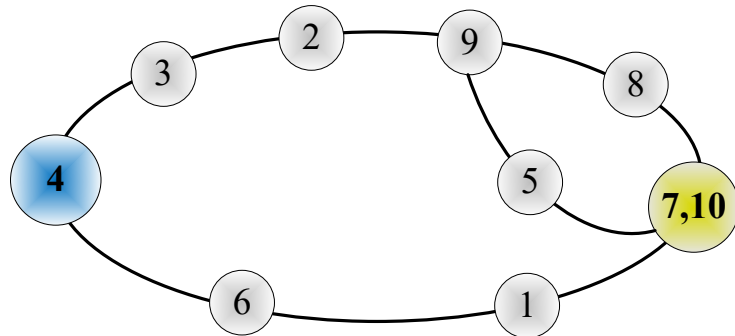


Рисунок 2.13 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{7,10}$ рівним одиниці

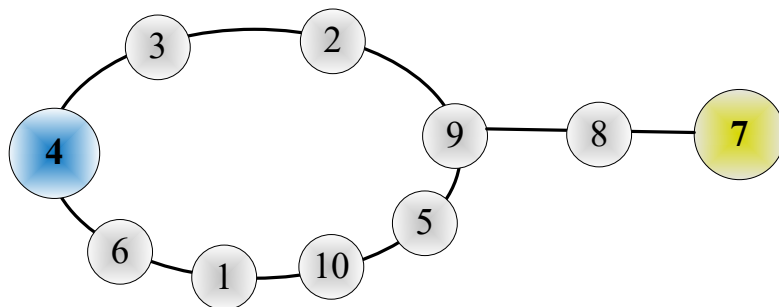


Рисунок 2.14 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{7,10}$ рівним нулю

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.11) при перемичці $u_{2,5,10} = 1$ для маршруту $M_{4,7}$:

$$k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{2,5,10} = 1) = \left[1 - (1 - k^2)(1 - k^3)\right] \cdot \left[1 - \left(1 - \left[1 - (1 - k)^2 \cdot k^2\right]\right) \times \right. \\ \left. \times (1 - k)\right] = [1 - 0,1719 \cdot 0,2464] \cdot [1 - 0,9926 \cdot 0,09] = 0,9583 \cdot 0,911 = \\ = 0,873. \quad (2.7)$$

Як бачимо з формули (2.7), ліва частина графа – послідовно-паралельна, а права – паралельно-послідовно-паралельна, а між собою ці дві частини послідовні.

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.12) при перемичці $u_{2,5,10} = 0$ для маршруту $M_{4,7}$:

$$k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{2,5,10} = 0) = 1 - (1 - k^5)(1 - k^4) = 1 - 0,376 \cdot 0,3142 = 0,8819. \quad (2.8)$$

Формула (2.8) демонструє, що в графі (рис. 2.12) є два паралельних маршрути, які в свою чергу мають послідовно з'єднані ребра.

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.13) при перемичці $u_{7,10} = 1$ для маршруту $M_{4,7}$:

$$k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{7,10} = 1) = \left[1 - (1 - k^3)(1 - k^5)\right] \cdot k^2 = (1 - 0,1538) \cdot 0,8281 = 0,7. \quad (2.9)$$

З формули (2.9) видно, що в графі (рис. 2.13) маршрут є послідовно-паралельно-послідовним.

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.14) при перемичці $u_{7,10} = 0$ для маршруту $M_{4,7}$:

$$k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{7,10} = 0) = 1 - \left[1 - k^3 \cdot \left(1 - (1 - k^2)^2 \right) \right] \cdot [1 - k^3] = 1 - [1 - 0,7536 \cdot 0,97] \cdot 0,2464 = 0,934. \quad (2.10)$$

Формула (2.10) демонструє, що в графі (рис. 2.14) є два паралельних маршрути, які в свою чергу мають послідовно-паралельно з'єднані ребра – верхній маршрут, та послідовно з'єднані ребра – нижній маршрут.

Щоб розрахувати загальний коефіцієнт готовності для маршруту $M_{4,7}$, скористаємось формулою (1.3) та (2.7-2.10):

$$\begin{aligned} k_{\Gamma}(M_{4,7}) &= k_{\Gamma}(u_{2,5}) \cdot k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{2,5} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,5})) \cdot k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{2,5} = 0) = \\ &= k_{\Gamma}(u_{2,5}) \cdot \left[k_{\Gamma}(u_{2,5,10}) \cdot k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{2,5,10} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,5,10})) \times \right. \\ &\times k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{2,5,10} = 0) \left. \right] + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,5})) \cdot \left[k_{\Gamma}(u_{7,10}) \cdot k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{7,10} = 1) + \right. \\ &+ (1 - k_{\Gamma}(u_{7,10})) \cdot k_{\Gamma}(M_{4,7}|u_{7,10} = 0) \left. \right] = k \cdot \left[k \cdot \left\{ \left[1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k^3) \right] \cdot [1 - \right. \right. \quad (2.11) \\ &- \left. \left. \left(1 - \left[1 - (1 - k)^2 \cdot k^2 \right] \right) \cdot (1 - k) \right\} + (1 - k) \left\{ 1 - (1 - k^5)(1 - k^4) \right\} \right] + (1 - k) \cdot \left[k \times \right. \\ &\times \left. \left\{ \left[1 - (1 - k^3)(1 - k^5) \right] \cdot k^2 \right\} + (1 - k) \left\{ 1 - \left[1 - k^3 \cdot \left(1 - (1 - k^2)^2 \right) \right] \cdot [1 - k^3] \right\} \right] = \\ &= 0,91 \cdot (0,7944 + 0,0894) + 0,09 \cdot (0,637 + 0,084) = 0,873. \end{aligned}$$

З формули (2.11) бачимо, що структурна надійність мережі для коміркової топології (рис. 2.7) складає 87,3% і це значення більше від кільцевої топології на 1,3%, що доводить логічне припущення – за наявності додаткових ребер в маршрутах збільшується і структурна надійність мережі в цілому.

Тому в більш простих топологіях необхідно резервувати додаткові канали зв'язку для підвищення структурної надійності мережі і зменшення часу простою (непрацездатності) всієї мережі чи її частини.

2.6 Гібридна топологія (М-структура)

Гібридна топологія – це тип мережної топології, який поєднує в собі елементи двох або більше базових топологій, таких як шина, зірка, кільце, дерево тощо. Така структура створюється для того, щоб скористатися перевагами кожної з топологій та зменшити їх недоліки.

Основні характеристики гібридної топології:

- комбінування топологій – наприклад, мережа може мати кілька зірок, об'єднаних у кільце;
- гнучкість – можливість адаптувати мережу до конкретних потреб;
- складність реалізації – чим більше різних топологій поєднується, тим складніше її налаштування і підтримка;
- надійність – при правильному проектуванні забезпечує високу стійкість до збоїв.

Переваги:

- висока ефективність – можна використати найкращі характеристики кожної топології;
- гнучке масштабування – легко адаптується до зростаючих вимог мережі;
- покращена надійність – відмова одного сегмента не обов'язково виводить з ладу всю мережу.

Недоліки:

- велика складність – потребує ретельного проектування і адміністрування;
- вартість – дорожча у впровадженні через складну інфраструктуру;
- сумісність – необхідність забезпечення сумісності між різними типами топологій.

Для розрахунку використаємо топологію М-структуру.

Топологія М-структура – це особливий різновид мережевої топології, який зазвичай розглядається у контексті структури управління організацією або

моделювання складних систем, а не як класична комп'ютерна мережна топологія (такі як зірка, шина, кільце тощо).

М-структура складається з найкоротшого дерева (НКД) (рис. 2.14 – зелений колір) та гамільтонового циклу висячих вершин НКД (рис. 2.14 – червоний колір). НКД утворюють з повнозв'язного графа мережі шляхом розрахунку алгоритму Краскала, Дейкстри чи Белмана-Форда, а наступний крок – розрахунок найкоротшого гамільтонового циклу з висячих вершин НКД. (Висяча вершина графу – це вершина, яка має коефіцієнт зв'язності 1, тобто з неї виходить лише одне ребро).

Розібравшись що таке М-структура, можна сміливо віднести її до гібридної топології, бо вона складається з двох топологій: «дерева» та кільця.

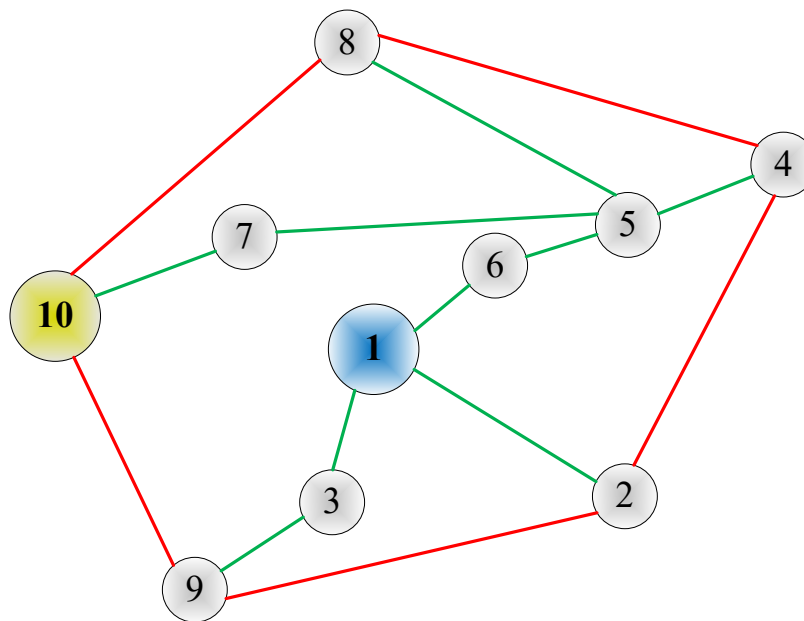


Рисунок 2.15 – Топологія М-структура

Розрахунок коефіцієнту готовності будемо робити для маршруту $M_{1,10}$. Представимо рис. 2.15 в іншому графічному вигляді (рис. 2.16) для кращого сприйняття та подальших розрахунків.

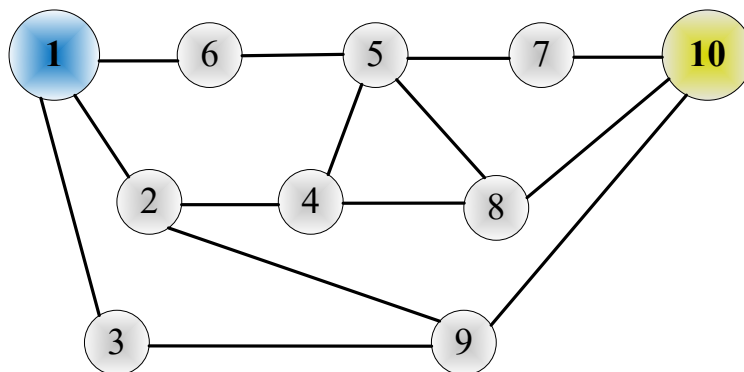
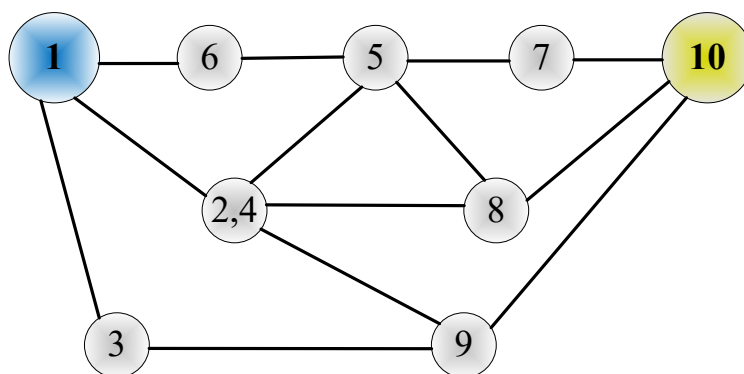


Рисунок 2.16 – Топологія М-структура

В якості перемички виступатиме ребро $u_{2,4}$ – між вершиною 2 та 4, відповідно до цього буде два графи, коли: коефіцієнт містка $u_{2,4}$ рівний одиниці (рис. 2.17) та коефіцієнт містка $u_{2,4}$ рівний нулю (рис. 2.18).

Якщо уважно поглянути на обидва графи, то для графа на рис. 2.18 вже можна розрахувати коефіцієнт готовності, не дивлячись на те, що граф досі виглядає складним, але маршрути в ньому підпорядковуються формулам (1.1-1.2) послідовності та паралельності.

Що ж стосується графа на рис. 2.17, то процес розкладання необхідно продовжувати і на другому етапі розкладання перемичкою виступатиме $u_{2,4,5}$.

Рисунок 2.17 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4}$ рівним одиниці

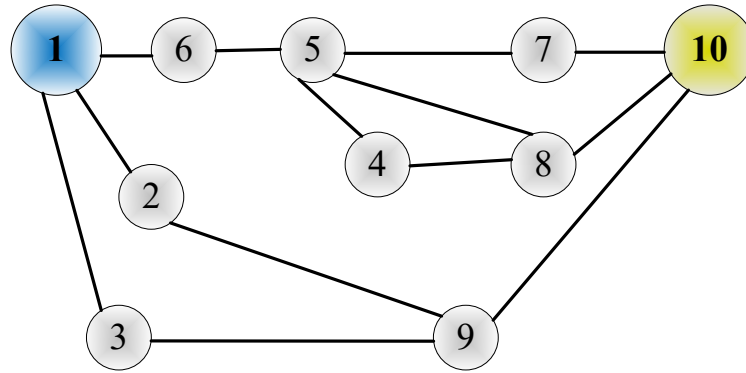


Рисунок 2.18 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4}$ рівним нулю

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.18) при перемичці $u_{2,4} = 0$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$\begin{aligned}
 k_G(M_{1,10} | u_{2,4} = 0) &= 1 - \left\{ 1 - \left(1 - \left[1 - (1 - k)(1 - k^2) \right] k \right) \left[1 - k^2 \right] \right\} \cdot k^2 \times \\
 &\times \left\{ 1 - \left[1 - (1 - k)(1 - k^2) \right] k \right\} = 1 - (1 - 0,8261) \cdot (1 - 0,9845 \cdot 0,91) = \\
 &= 0,9976.
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Граф (рис. 2.17) розкладаємо за перемичкою $u_{2,4,5}$, але новоутворені графи (рис. 2.19-2.20) залишаються складними для розрахунку, тому переходимо на третій етап розкладання.

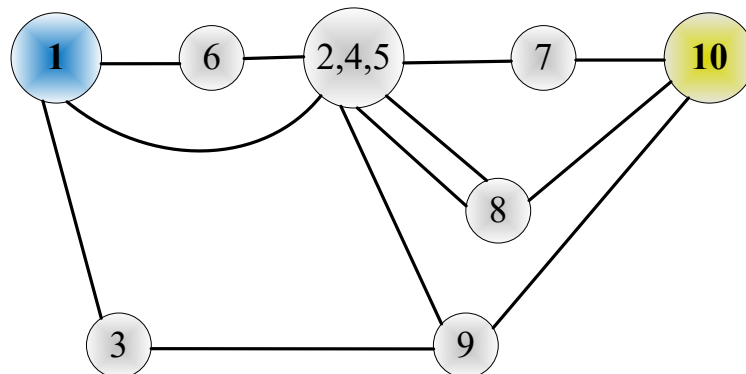


Рисунок 2.19 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5}$ рівним одиниці

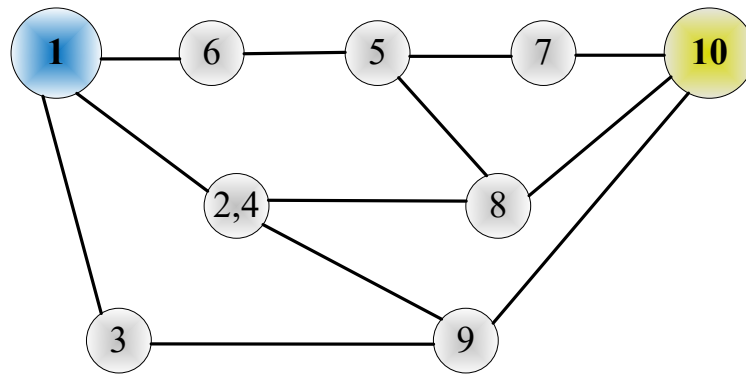


Рисунок 2.20 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5}$ рівним нулю

Граф (рис. 2.19) розкладаємо за перемичкою $u_{2,4,5,9}$ при одиниці (рис. 2.21) та при нулю (рис. 2.22), для цих графів розрахуємо коефіцієнти готовності.

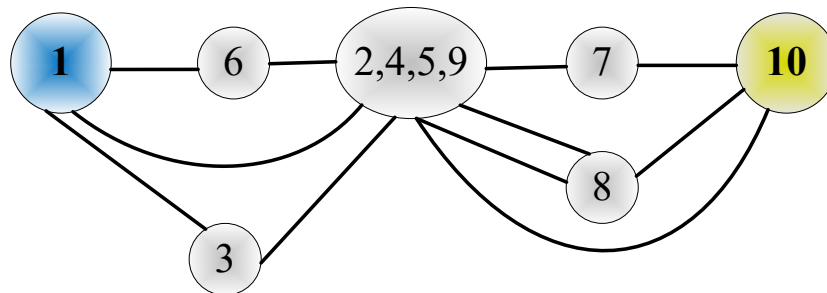


Рисунок 2.21 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5,9}$ рівним одиниці

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.21) при перемичці $u_{2,4,5,9} = 1$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$\begin{aligned}
 k_{\Gamma}(M_{1,10} | u_{2,4,5,9} = 1) &= \left\{ 1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k) \cdot (1 - k^2) \right\} \cdot \left\{ 1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k) \times \right. \\
 &\times \left. \left[1 - (1 - (1 - k)^2) \cdot k \right] \right\} = (1 - 0,1719^2 \cdot 0,09) \cdot (1 - 0,1719 \cdot 0,09 \cdot 0,0974) = \quad (2.13) \\
 &= 0,9973 \cdot 0,9985 = 0,9958.
 \end{aligned}$$

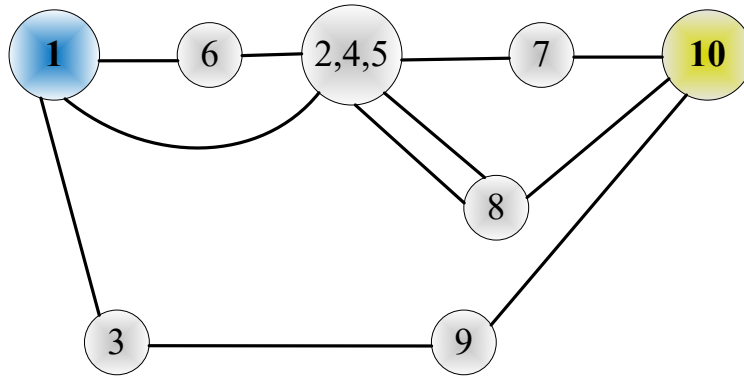


Рисунок 2.22 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5,9}$ рівним нулю

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.22) при перемичці $u_{2,4,5,9} = 0$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$k_{\Gamma}(M_{1,10} | u_{2,4,5,9} = 0) = 1 - \left\{ 1 - \left[1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k) \right] \cdot \left[1 - \left(1 - (1 - (1 - k)^2) \cdot k \right) \times \right. \right. \quad (2.14)$$

$$\left. \left. \times (1 - k^2) \right] \right\} \cdot (1 - k^3) = 1 - (1 - 0,0157 \cdot 0,9027) \cdot (1 - 0,0007) = 0,0148.$$

Для графа (рис. 2.20) розкладаємо за перемичкою $u_{5,8}$ при одиниці (рис. 2.23) та при нулю (рис. 2.24), для цих графів розрахуємо коефіцієнти готовності.

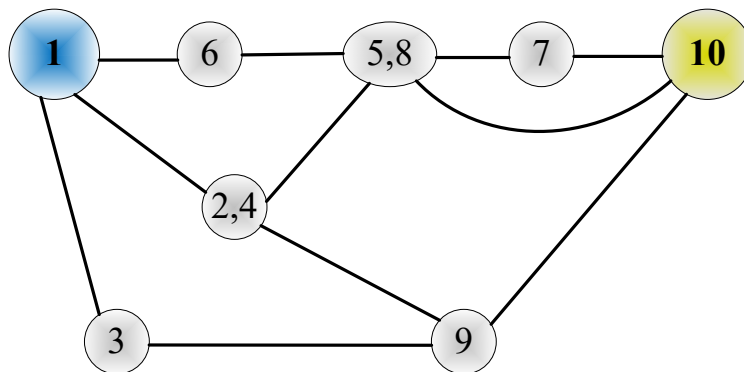


Рисунок 2.23 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{5,8}$ рівним одиниці

Для графа (рис. 2.23-2.24) все ще не вдається розрахувати коефіцієнт готовності, його продовжимо розкладати.

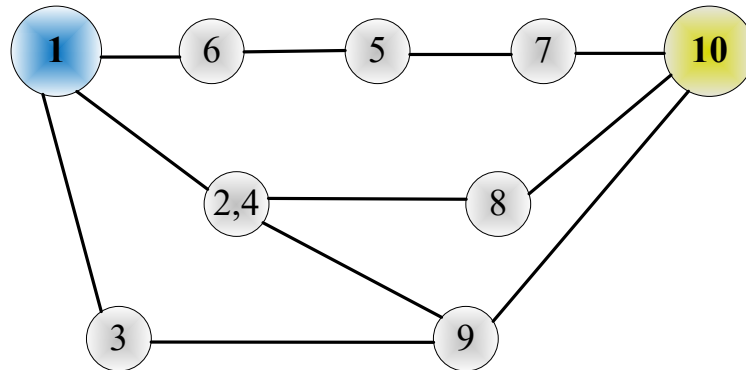


Рисунок 2.24 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{5,8}$ рівним нулю

На четвертому етапі для графа (рис. 2.23) розкладаємо за перемичкою $u_{2,4,5,8}$ при одиниці (рис. 2.25) та при нулю (рис. 2.26), для одного з графів (рис. 2.26) розрахуємо коефіцієнти готовності, для іншого продовжимо розкладання через неможливість розрахунків.

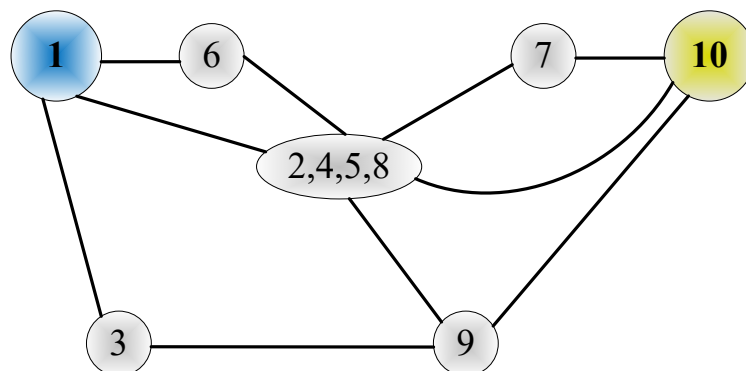


Рисунок 2.25 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5,8}$ рівним одиниці

Граф (рис. 2.25) розкладаємо за новою перемичкою $u_{2,4,5,9,8}$, новоутворені графи достатньо спрощені і для них будемо робити розрахунки.

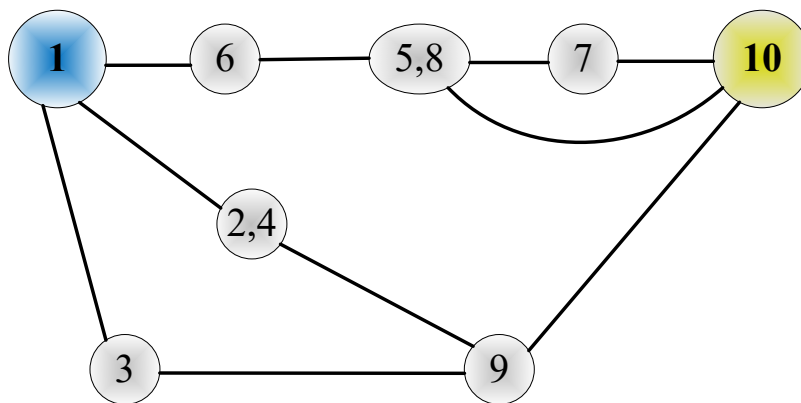


Рисунок 2.26 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5,8}$ рівним нулю

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.26) при перемичці $u_{2,4,5,8} = 0$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$k_{\Gamma}(M_{1,10} | u_{2,4,5,8} = 0) = 1 - \left[1 - k^2 \cdot \left(1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k) \right) \right] \cdot \left[1 - (1 - (1 - k^2)^2) \cdot k \right] = 1 - (1 - 0,00797) \cdot (1 - 0,624) = 0,627. \quad (2.15)$$

На четвертому етапі для графа (рис. 2.24) розкладаємо за перемичкою $u_{2,4,9}$ при одиниці (рис. 2.27) та при нулю (рис. 2.28), для обох графів можемо розрахувати коефіцієнти готовності.

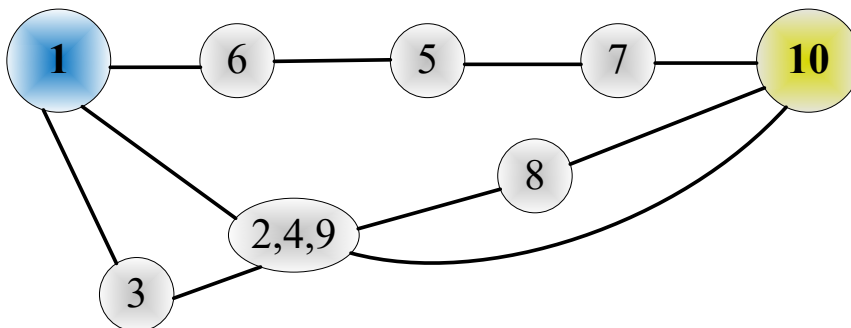


Рисунок 2.27 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,9}$ рівним одиниці

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.27) при перемичці $u_{2,4,9} = 1$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$k_G(M_{1,10} | u_{2,4,9} = 1) = 1 - [1 - k^4] \cdot [1 - (1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k)) \times (1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k))] = 1 - (1 - 0,6857) \cdot (1 - 0,00025) = 0,6858. \quad (2.16)$$

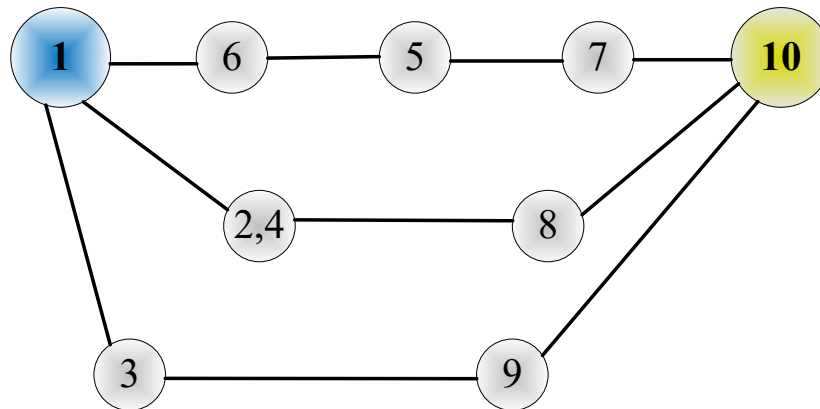


Рисунок 2.28 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,9}$ рівним нулю

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.28) при перемичці $u_{2,4,9} = 0$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$k_G(M_{1,10} | u_{2,4,9} = 0) = 1 - (1 - k^4) \cdot (1 - k^3) \cdot (1 - k^3) = 1 - (1 - k^4) \cdot (1 - k^3)^2 = 1 - 0,3142 \cdot 0,5678 = 0,8216. \quad (2.17)$$

На п'ятому етапі для графа (рис. 2.25) розкладаємо за перемичкою $u_{2,4,5,9,8}$ при одиниці (рис. 2.29) та при нулю (рис. 2.30), для обох графів можемо розрахувати коефіцієнти готовності. Графи містять паралельно-послідовні з'єднання та навпаки, для них застосовуються формули (1.1-1.2)

Це останній етап розкладання, далі напишемо загальну формулу розрахунку коефіцієнта готовності для маршруту $M_{1,10}$ врахувавши всі графи розкладання.

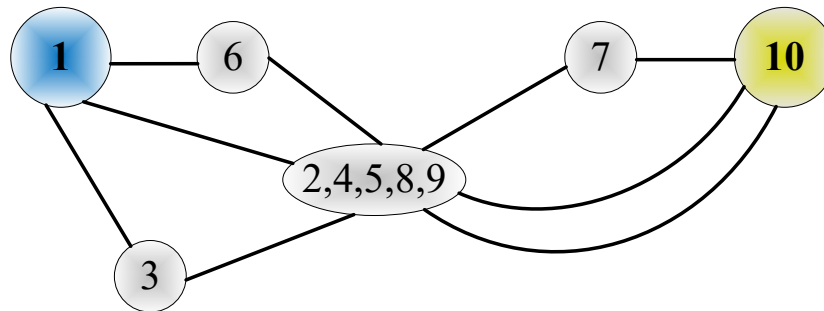


Рисунок 2.29 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5,9,8}$ рівним одиниці

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.29) при перемичці $u_{2,4,5,9,8} = 1$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$k_G(M_{1,10} | u_{2,4,5,9,8} = 1) = \left[1 - (1 - k^2)^2 \cdot (1 - k) \right] \cdot \left[1 - (1 - k^2) \cdot (1 - k)^2 \right] = \quad (2.18)$$

$$= 1 - 0,9973 \cdot 0,9986 = 0,9959.$$

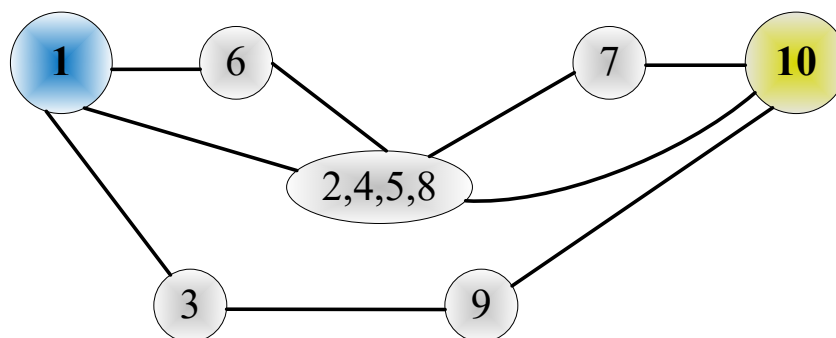


Рисунок 2.30 – Граф із коефіцієнтом містка $u_{2,4,5,9,8}$ рівним нулю

Розрахуємо коефіцієнт готовності для графа (рис. 2.30) при перемичці $u_{2,4,5,9,8} = 0$ для маршруту $M_{1,10}$:

$$\begin{aligned} k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5,9,8} = 0) &= 1 - (1 - k^3) \cdot \left[1 - (1 - (1 - k) \cdot (1 - k^2)) \times \right. \\ &\times \left. (1 - (1 - k) \cdot (1 - k^2)) \right] = 1 - (1 - k^3) \cdot \left[1 - (1 - (1 - k) \cdot (1 - k^2))^2 \right] = \quad (2.19) \\ &= 1 - 0,7536 \cdot 0,9997 = 0,2466. \end{aligned}$$

Щоб розрахувати загальний коефіцієнт готовності для маршруту $M_{1,10}$, скористаємось формулою (1.3) та (2.12-2.19):

$$\begin{aligned} k_{\Gamma}(M_{1,10}) &= k_{\Gamma}(u_{2,4}) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4})) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4} = 0) = \\ &= k_{\Gamma}(u_{2,4}) \cdot \left[k_{\Gamma}(u_{2,4,5}) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,5})) \times \right. \\ &\times k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5} = 0) \left. \right] + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4})) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4} = 0) = k_{\Gamma}(u_{2,4}) \times \\ &\times \left[k_{\Gamma}(u_{2,4,5}) \cdot \left\{ k_{\Gamma}(u_{2,4,5,9}) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5,9} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,5,9})) \times \right. \right. \\ &\times k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5,9} = 1) \left. \left. \right\} + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,5})) \cdot \left\{ k_{\Gamma}(u_{5,8}) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{5,8} = 1) + \right. \right. \\ &+ \left. \left. (1 - k_{\Gamma}(u_{5,8})) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{5,8} = 0) \right\} \right] + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4})) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4} = 0) = \\ &= k_{\Gamma}(u_{2,4}) \cdot \left[k_{\Gamma}(u_{2,4,5}) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,5})) \times \quad (2.20) \right. \\ &\times k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5} = 0) \left. \right] + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4})) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4} = 0) = k_{\Gamma}(u_{2,4}) \times \\ &\times \left[k_{\Gamma}(u_{2,4,5}) \cdot \left\{ k_{\Gamma}(u_{2,4,5,9}) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5,9} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,5,9})) \times \right. \right. \\ &\times k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5,9} = 0) \left. \left. \right\} + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,5})) \cdot \left\{ k_{\Gamma}(u_{5,8}) \cdot \left[k_{\Gamma}(u_{2,4,5,8}) \times \right. \right. \right. \\ &\times k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5,8} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,5,8})) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,5,8} = 1) \left. \right] + \\ &+ (1 - k_{\Gamma}(u_{5,8})) \cdot \left[k_{\Gamma}(u_{2,4,9}) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,9} = 1) + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4,9})) \times \right. \\ &\times k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4,9} = 0) \left. \left. \right] \right] + (1 - k_{\Gamma}(u_{2,4})) \cdot k_{\Gamma}(M_{1,10}|u_{2,4} = 0) = 0,9612. \end{aligned}$$

З формули (2.20) бачимо, що структурна надійність мережі для гібридної топології (рис. 2.15) складає 96,12% і це значення більше від коміркової топології на 8,82%, що доводить – за наявності додаткових ребер в маршрутах збільшується і структурна надійність мережі в цілому.

2.7 Повнозв'язна топологія

Повнозв'язна топологія – це топологія, в якій кожен вузол (вершина) мережі з'єднаний з усіма іншими.

Для такої топології характерно:

- максимальна відмовостійкість – вихід з ладу одного або кількох з'єднань не порушує загальної комунікації між іншими вузлами. Передача інформації може здійснюватись через інші шляхи;

- висока зв'язність – граф повнозв'язної топології є $(n-1)$ зв'язним, тобто для повного розриву зв'язку потрібно видалити всі ребра, що ведуть до кожного вузла;

- низька ймовірність повної втрати з'єднання – через велику кількість маршрутів повідомлення можна переадресувати за альтернативними шляхами.

Розрахунок для повнозв'язної топології в 10 вершин не будемо обчислювати, враховуючи той факт, що при 10 вершинах та 14 ребрах в гібридної топології коефіцієнт готовності складає 96,12%, а повнозв'язна топологія при цій же кількості вершин матиме 45 ребер, то логічно, що структурна надійність повнозв'язної топології перевищуватиме 99,9%, навіть при імовірності відмови окремих ліній, що робить її найнадійнішою топологією з усіх можливих.

Всі розрахунки структурної надійності топологій зведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Структурна надійність мереж

Складність топології	Назва топології	Загальна кількість вершин в топології	Кількість вершин в маршруті	Коефіцієнт готовності, %
Проста топологія	Лінійна топологія	10	3	82,8
			6	62
			10	42,8
	Топологія «зірка»		3	82,8
	Топологія «дерево/ієрархічна»		7	56,8
	Кільцева топологія		10	85,9
Складна топологія	Коміркова топологія		10	87,3
	Гібридна топологія (М-структура)		10	96,12
	Повнозв'язна топологія		10	99,9

ВИСНОВКИ

Серед різних типів надійності – функціональної, часової, апаратурної та інших – структурна надійність відіграє ключову роль, оскільки визначає здатність системи зберігати працездатність при відмові окремих її компонентів. Вона залежить від архітектури мережі, резервування, типу з'єднань та конфігурації обладнання. На відміну від часової надійності, яка характеризує стабільність роботи в певний проміжок часу, або функціональної – що описує відповідність системи заданим вимогам, структурна надійність забезпечує загальну стійкість системи до фізичних та логічних збоїв.

Таким чином, структурна надійність є основою побудови відмовостійких мереж і систем, дозволяючи зменшити ризики повної відмови та забезпечити безперервність критично важливих процесів. Вона є невід'ємним чинником при проектуванні надійних інформаційних інфраструктур.

Для чіткого розуміння, як впливає на структурну надійність мережі її топологія – проста чи складна, було здійснено відповідні розрахунки. В результаті – топологія мережі має суттєвий вплив на її структурну надійність. Найбільш надійними виявилися повнозв'язні, гібридні та коміркові (сіткові) структури, які мають високий рівень надмірності з'єднань і можливість перенаправлення трафіку при відмовах. Натомість менш складні топології – зіркоподібна та деревоподібна показали більшу вразливість до відмов центральних вузлів та являються не такими надійними з точки зору структури, до цього списку також входять лінійна та кільцева топології, які не забезпечують достатньої структурної надійності для працездатності мережі, на відміну від складних.

В результаті була зведена таблиця з розрахунками, яка чітко дає розуміння того, яка топологія є більш надійною. Для підвищення структурної надійності мережі з більш простою топологією є рішення – резервувати додаткові лінії зв'язку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Поняття та кількісні показники структурної надійності та живучості телекомунікаційних мереж. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://studfiles.net/preview/5726066/> (дата звернення: 14.05.2025)

2. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі : Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. – 384 с.

3. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність, контроль, діагностика та експлуатація ЕОМ» для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» / Укладачі: Тиш Є.В., Литвиненко Я.В. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. – 150 с.