

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Організація абонентської мережі на основі високошвидкісних стандартів
технології PON у смт. Кочеток

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІМ-22-1

Новічков В.В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 «Телекомунікації

та радіотехніка»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

«Інформаційно-мережна інженерія»

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Колтун Ю.М.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

/ Новічков В.В. /

Керівник

/ Колтун Ю.М. /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
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)

« 23 » жовтня 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Новічкову Володимирі Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Організація абонентської мережі на основі високошвидкісних стандартів технології PON у смт. Кочеток

затверджена наказом університету від « 23 » жовтня 2023 р. № 1233 Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Технологічний стандарт мережі PON – GEPON. Зробити аналіз загальних особливостей і принципів організації мереж на базі технології PON. Зробити вибір та обґрунтування мережного обладнання та компонентів PON. Розробити топологічну структуру мережі GEPON для смт. Кочеток з урахуванням вибраного мережного обладнання. Зробити оцінку характеристик розробленої мережі для окремо вибраного її сегмента.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі.

Вступ

1. Особливості технології PON.

2. Обґрунтування вибору топологічної структури і компонентів мережі PON для смт. Кочеток.

3. Аналіз протоколів активного обладнання PON.

4. Оцінка параметрів мережі PON

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Слайди у форматі Power Point (назва, мета кваліфікаційної роботи та її актуальність, топології побудови мережі PON, обґрунтування вибору активного обладнання GEON, обґрунтування вибору пасивного обладнання GEON, одескабель ОКТ-Д(2,7)П-12Е1-0,36Ф3,5/0,22Н18-12, принцип прокладки ВОК, підключення абонентів через оптичний бокс, топологічна схема мережі PON в смт. Кочеток, приклад роботи LACP, схема роботи проколу SNMP, схема роботи протоколу Snooping IGMP, процес відстеження DHCP, сегмент мережі GEON, що обмежений вулицями Літвінова та Жовтневою, висновки)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|---|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|
| 1 | Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ. | 23.10 – 27.10.23 | виконано |
| 2 | Підбір літератури за темою роботи. | 28.10 – 05.11.23 | виконано |
| 3 | Виконання розділу 1 | 06.11 – 20.11.23 | виконано |
| 4 | Виконання розділу 2 | 21.11 – 06.12.23 | виконано |
| 5 | Виконання розділу 3 | 07.12 – 16.12.23 | виконано |
| 6 | Виконання розділу 4 | 17.12 – 26.12.23 | виконано |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки | 27.12 – 07.01.24 | виконано |
| 8 | Оформлення презентаційного матеріалу та подання роботи до ЕК | 08.01 – 20.01.2024 | виконано |
| 9 | Підготовка до захисту та захист у ЕК | 21.01 – 30.01.24 | виконано |
| | | | |
| | | | |

Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Колтун Ю.М.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 81 с., 36 рис., 7 табл., 19 джерел, 2 додатки.

ОПТИЧНА МЕРЕЖА, PON, НИЗХІДНИЙ ПОТІК, ВИСХІДНИЙ ПОТІК,
СПЛІТТЕРИ, OLT, ONT, ONU, ТОПОЛОГІЯ, GPON

Об'єкт дослідження – пасивна оптична мережа.

Мета роботи – аналіз принципів організації мережі абонентського доступу для жителів смт. Кочеток на базі технології GPON.

Розглянуті основні моменти, що стосуються застосування технології PON для створення абонентської мережі доступу послуги інтернет у смт. Кочеток. Проаналізовані ключові переваги і недоліки технології PON та висвітлені технологічні принципи організації мереж на базі цієї технології. Проаналізовані особливості організації мережі та методи передачі інформації по одному волокну завдяки мультиплексуванню, які застосовуються в пасивних мережах. Розроблена схема розташування PON боксів для мережі абонентського доступу, для даного населеного пункту, а саме смт. Кочеток. Наданні рекомендації та правила, щодо повітряного прокладання волоконно-оптичного кабелю по опорах. Проведені розрахунки загасання та оптичний бюджет потужності мережі.

THE ABSTRACT

Explanatory note 81 pages, 36 fig., 7 tab., 19 sources, 2 app.

OPTICAL NETWORK, PON, DOWNSTREAM, OUTPUT FLOW, SPLITTERS, OLT, ONT, ONU, TOPOLOGY, GEAPON

The object of research – is a passive optical network.

The purpose of work – of the work is to analyze the principles of organization of the subscriber access network for the residents of the village. Kochetok based on GEAPON technology.

Considered the main points related to the application of PON technology for the creation of a subscriber access network for Internet services in the village of Kochetok. The key advantages and disadvantages of PON technology are analyzed and the technological principles of network organization based on this technology are highlighted. The peculiarities of the network organization and the methods of transmitting information along one fiber thanks to multiplexing, which are used in passive networks, are analyzed. The layout of the PON boxes for the subscriber access network has been developed for this settlement, namely the village of Kochetok. Provided recommendations and rules regarding aerial laying of fiber-optic cable on supports. Attenuation calculations and the optical network power budget were performed.

ЗМІСТ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | С. |
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ | 8 |
| ВСТУП..... | 10 |
| 1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ PON | 12 |
| 1.1 Загальна характеристика, переваги і недоліки технології PON | 12 |
| 1.2 Базова архітектура PON | 14 |
| 1.3 Технологічні принципи організації мереж PON..... | 18 |
| 1.4 Основні топології пасивних оптичних мереж..... | 18 |
| 1.5 Типи пасивних оптичних мереж..... | 26 |
| 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТОПОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ І КОМПОНЕНТІВ МЕРЕЖІ PON ДЛЯ СМТ. КОЧЕТОК | 28 |
| 2.1 Вибір і обґрунтування активного мережного обладнання PON | 28 |
| 2.2 Пасивне обладнання xPON (PLC) | 33 |
| 2.3 Пасивне обладнання xPON (FBT) | 35 |
| 2.4 Порівняння дільників | 37 |
| 2.5 Обґрунтування топологічної структури мережі PON | 38 |
| 3 АНАЛІЗ ПРОТОКОЛІВ АКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ PON | 44 |
| 3.1 Протоколи у магістральному обладнанні, RSTP | 44 |
| 3.2 Протокол SNMP | 51 |
| 3.3 Протокол Snooping IGMP | 54 |
| 3.4 Функція DDM | 57 |
| 3.5 Протокол DHCP snooping..... | 58 |
| 4 ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ PON | 61 |
| 4.1 Розрахунок загасання мережі | 61 |
| 4.2 Розрахунок оптичного бюджету PON..... | 63 |
| ВИСНОВКИ..... | 65 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ І ПОСИЛАНЬ | 67 |
| ДОДАТОК А ПУБЛІКАЦІЇ | 69 |
| ДОДАТОК Б СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ..... | 73 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- PON – Passive Optical Network – пасивна оптична мережа;
- EPON – Ethernet Passive Optical Networks – пасивна оптична мережа Ethernet;
- GEAPON – Gigabit Ethernet Passive Optical Networks – гігабітна пасивна оптична мережа Ethernet;
- GPON – Gigabit Passive Optical Networks – гігабітна пасивна оптична мережа;
- ODN – Optical Distribution Network – оптичний розподілювач мережі;
- OLT – Optical Line Terminal – термінал оптичної лінії;
- ONU – Optical Network Unit – оптичний мережний термінал користувача;
- ATM – Asynchronous Transfer Mode – асинхронний режим передачі;
- GEM – GPON Encapsulation Method – метод інкапсуляції GPON;
- WDM – Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з поділом довжин хвиль;
- TDM – Time Division Multiplexing – мультиплексування з тимчасовим поділом;
- TDMA – Time division multiple access – множинний доступ з тимчасовим поділом;
- IP – Internet Protocol – інтернет-протокол;
- ISP – Internet Service Provider – центральний інтернет-провайдер;
- FiOS – Fiber Optic Service – індивідуальні волоконно-оптичні послуги;
- SSL – Secure Socket Layer – рівень захищених сокетів;
- SSH – Secure Shell – мережевий протокол прикладного рівня, що дозволяє виробляти віддалене керування операційною системою;
- SFP – Small Form-factor Pluggable – модульний компактний приймач (трансвер);
- HPCC – High-performance computing cluster – високопродуктивні кластерні обчислення;
- iSCSI – Internet Small Computer System Interface – протокол, який базується на TCP/IP та розроблений для встановлення взаємодії та управління системами зберігання даних, серверами та клієнтами;

DDM – Digital Diagnostic monitoring – інтерфейс цифрової діагностики та моніторингу;

PLC – Planar Lightwave Circuit Splitters – планарні дільники або розгалужувачі;

FBT – Fused Biconical Taper Splitters – зварні дільники;

RSTP – Rapid spanning tree protocol – протокол швидкого сполучного дерева;

LAG – Link Aggregation Group – реальний метод чи приклад для агрегації каналів;

LACP – link aggregation control protocol – протокол для автоматичного налаштування та підтримки LAG;

CATV – Cable Television – аналогове телебачення;

AP – Alternative Port – альтернативний порт;

DP – Display Port – призначений порт;

RP – Root Port – кореневий порт;

SNMP – Simple Network Management Protocol – Простий протокол керування мережею;

NMS – Network Management Station – мережна станція управління;

MIB – Management Information Base – база інформації;

OID – Object identifier – ідентифікатор об'єкта;

IGMP – Internet Group Management Protocol – протокол управління мережею мультимовлення;

DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol – мережний протокол, що дозволяє мережним пристроям автоматично отримувати IP-адресу;

QoS – Quality of Service – якість обслуговування.

ВСТУП

Сучасна доба характеризується стрімким процесом інформатизації суспільства. Це найсильніше проявляється у зростанні пропускну́ї спроможності та гнучкості інформаційних мереж. Смуга пропускання для одного користувача стрімко збільшується завдяки кільком факторам. По-перше, зростає популярність інтернет додатків та кількість електронних банків інформації, які стають надбанням кожної людини. Стрімкий розвиток комп'ютерної інженерії призводить до зростання кількості домашніх ПК, кожен із яких потенційно перетворюється на пристрій, здатний підключитися до мережі Internet. По-друге, нові мережні додатки стають все більш «ненажерливими», користування якими потребує все більшої швидкості передачі даних. Як наслідок, спостерігається різке зростання споживання ресурсів Internet. За оцінками середній обсяг потоку інформації для одного користувача у світі збільшується у 8 разів на рік. Слід додатково зазначити, як і сама комунікаційна індустрія є постачальником гетерогенних комунікаційних служб, сприяючи світової інформаційної інтеграції та зростання навантаження на мережу.

Протидіяти зростаючим обсягам інформації, що передається, на рівні мережевих магістралей можна тільки залучаючи оптичне волокно. І постачальники засобів зв'язку під час побудови сучасних інформаційних мереж використовують волоконно-оптичні кабельні системи найчастіше. Оптичне волокно в даний час вважається найдосконалішим фізичним середовищем для передачі інформації, а також найперспективнішим середовищем передачі великих потоків інформації на значні відстані. Волоконна оптика, ставши головним двигуном процесу інформатизації суспільства, забезпечила собі гарантований розвиток у теперішньому та майбутньому. Сьогодні волоконна оптика знаходить застосування практично у всіх завданнях, пов'язаних із передачею інформації.

Волоконно-оптичний інтерфейс вже давно став безумовним лідером при побудові магістральних мереж. Комерційні аспекти оптичного волокна також говорять на його користь, волокно виготовляється з кварцу, тобто на основі піску, запаси якого дуже великі.

Метою роботи є аналіз принципів організації мережі абонентського доступу для жителів смт. Кочеток на базі технології GPON. Організація такої мережі забезпечить широкопasmовий доступ для своїх користувачів до різних сучасних інфокомунікаційних послуг на основі мультимедійної інформації, зокрема до послуг інтернет, тому робота є актуальною.

1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ PON

1.1 Загальна характеристика, переваги і недоліки технології PON

Пасивна оптична мережа (Passive Optical Network, PON) – це волоконно-оптична телекомунікаційна технологія для надання широкосмугового доступу до мережі кінцевим клієнтам. Архітектура даної мережі реалізує топологію «точка-багаточка», у якій одне оптичне волокно обслуговує кілька кінцевих точок за допомогою безживних (пасивних) волоконно-оптичних розгалужувачів для розподілу пропускної здатності волокна між кінцевими точками. Пасивні оптичні мережі часто називають «останньою милею» між постачальником послуг Інтернету (Internet Service Provider, ISP) і його клієнтами [1].

На відміну від активної оптичної мережі, електроенергія потрібна лише в точках відправлення та прийому, що робить PON за своєю суттю ефективною з погляду експлуатаційних витрат. Пасивні оптичні мережі використовуються для одночасної передачі сигналів як у висхідному, так і в низхідному напрямках до кінцевих точок користувача та від них [2].

До переваг пасивних оптичних мереж належать наступні фактори [2]:

- найбільш фундаментальною перевагою є відсутність живлення, необхідного для мережі доступу. Оскільки живлення потрібно лише на вихідному та приймальному кінцях сигналу, в системі менше електричних компонентів, що знижує вимоги до технічного обслуговування та можливості відмови обладнання з живленням;

- спрощена інфраструктура та простота оновлення. Пасивна архітектура також усуває необхідність монтажних шаф, інфраструктури охолодження або електроніки середнього рівня. У міру розвитку технології PON тільки кінцеві пристрої (OLT, ONT/ONU) вимагають оновлення чи заміни, оскільки інфраструктура оптичного волокна та розгалужувачів залишається постійною;

- ефективне використання інфраструктури. Операторам необхідно отримати максимальну віддачу від нової чи існуючої інфраструктури, знайшовши способи збільшити пропускну здатність на фоні існуючої мережі. Різні стандарти PON у поєднанні з такими послугами, як (RF over Glass, RFoG) або радіочастотне накладання відео, можуть співіснувати на одному PON, щоб пропонувати кілька

послуг (потрійне відтворення) і отримати більшу пропускну здатність через те саме волокно;

- простота обслуговування. Мідні мережі, які замінюються на PON, вразливі до електромагнітних перешкод та шуму. Будучи оптичними, мережі PON не схильні до таких перешкод і зберігають цілісність сигналу на запланованій відстані. У мережах PON першочерговим завданням є те, чи правильно активні пристрої (ONT, ONU та OLT) керують синхронізацією та передачею сигналу, а пасивні оптичні компоненти не викликають надто великих втрат сигналу (оптичного згасання). Оскільки джерела втрат в елементах PON легко побачити та ідентифікувати, ці мережі простіше обслуговувати та усувати проблеми.

До потенційних недоліків пасивних оптичних мереж належать наступні фактори [2]:

- відстань – діапазон для PON обмежений від 20 до 40 км, тоді як активна оптична мережа може досягати до 100 км.;

- доступ до тестів – Для того щоб бути впевненим, що мережа побудована правильно потрібно перш ніж її запустити в експлуатацію зробити її тестування. Такі засоби тестування повинні дозволяти усувати неполадки в процесі експлуатації, не перериваючи обслуговування інших кінцевих користувачів на тому ж PON. Якщо існує тестовий доступ, тести можна виконувати за допомогою портативного або централізованого тестового рішення з використанням позасмугових довжин хвиль, таких як 1650 нм, щоб уникнути зіткнення з існуючими довжинами хвиль PON. Якщо тестовий доступ не планується, доступ повинен бути отриманий з однієї з кінцевих точок OLT або ONT, або частина PON повинна бути виведена з експлуатації, що саме і є недоліком процесу тестування.

- висока вразливість до поломки фідерної лінії або OLT. Далі буде показано, що основним типом архітектури побудови мереж PON є архітектура точка багатоточка (Point-2-Multipoint, P2MP). У цій архітекторі фідерна лінія та OLT обслуговують безліч кінцевих користувачів. Оскільки існує невелике резервування у разі випадкового обриву оптоволокна чи несправного OLT, перебої у обслуговуванні може бути значними. Більш наглядно схема вразливості фідерної лінії показано на рисунку 1.1

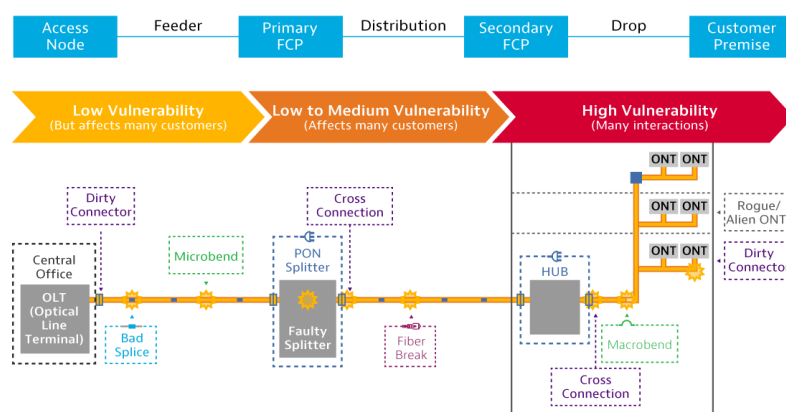


Рисунок 1.1 – Вразливість до поломки фідерної лінії

Загалом переваги, властиві пасивним оптичним мережам, суттєво переважають обмеження висвітленні вище.

1.2 Базова архітектура PON

Мережі PON використовують архітектуру P2MP, яка використовує оптичні розгалужувачі для поділу низхідного сигналу від одного OLT на безліч низхідних шляхів до кінцевих користувачів. Зразок такої архітектури зображений нижче на рисунку 1.2.

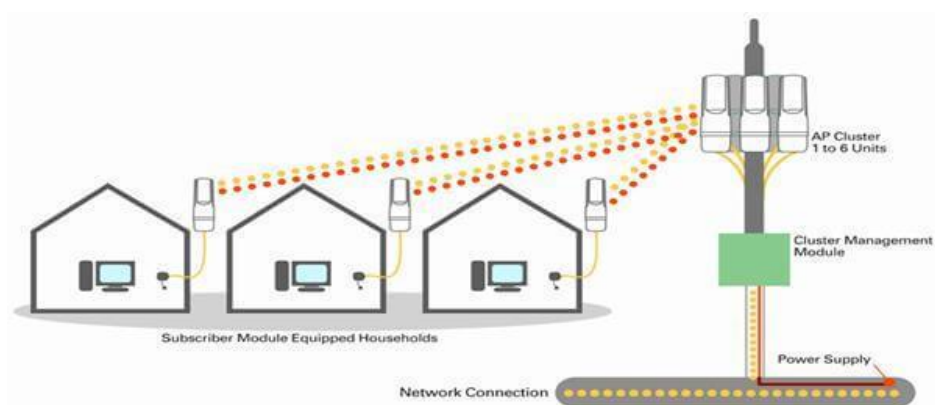


Рисунок 1.2 – Зразок організації архітектури P2MP

Оптичне волокно та розгалужувачі є справді «пасивними» будівельними блоками PON, які не потребують електроживлення. Оптичні розгалужувачі ділять

будь-яку оптичну довжину хвилі для низхідної передачі даних. Поділ оптичного сигналу призводить до втрати потужності, яка залежить від кількості способів поділу сигналу. Розгалужувачі не потребують охолодження чи іншого поточного обслуговування, властивого активним мережевим компонентам (наприклад, оптичним підсилювачам), і можуть працювати десятиліттями, якщо їх не турбувати. На додаток до пасивних компонентів для завершення мережі PON потрібні активні кінцеві пристрої. Термінал оптичної лінії (Optical Line Terminal, OLT) є початковою точкою для пасивної оптичної мережі. OLT підключений до основного комутатора через роз'єми Ethernet. Основною функцією OLT є перетворення, кадрювання та передача сигналів для мережі PON і координація мультиплексування оптичних мережесих терміналів (Optical Network Terminal, ONT) для спільної висхідної передачі даних. ONT – це пристрій із живленням пасивної оптичної мережевої системи на протилежному (користувальницькому) кінці мережі та містить порти Ethernet стандарту конектора RJ-45 для домашнього пристрою. Стандарт IEEE також називає ці пристрої кінцевого користувача оптичними мережевими блоками (Optical Network Unit, ONU), тоді як стандарт ITU-T зазвичай використовує акронім ONT. Ця тонка різниця в термінології також вказує на те, яка служба та стандарт PON використовуються [2].

Один розгалужувач об'єднує безліч висхідних каналів від кінцевих користувачів назад до OLT. Архітектура P2MP була обрана як найбільш раціональна архітектура PON для мереж оптичного доступу через властиву їм ефективність спільного використання волокна та низького енергоспоживання. Ця архітектура була стандартизована у 1998 році за допомогою специфікації ATM-PON G.983.1. На сьогоднішній день стандарт ITU-T G.984 для G-PON витіснив режим асинхронної передачі (Asynchronous Transfer Mode, ATM), оскільки такий стандарт більше не використовується [2].

Мережа PON починається з OLT у вихідному положенні постачальника послуг, зазвичай відомому як локальний або центральний офіс, або іноді називається обмінним пунктом або головною станцією. Звідти волоконно-оптичний кабель (або фідерне волокно) направляється до пасивного розгалужувача разом з резервним волокном, якщо воно використовується. Потім розподільні волокна підключаються від розгалужувача до розподільного терміналу, який може бути розташований у вуличній шафі, у міцному корпусі, встановленому в ямі, на телеграфному стовпі або навіть збоку будівлі. Потім сполучні волокна забезпечують остаточне з'єднання «один до одного» від порту

терміналу до ONT/ONU кінцевого користувача. У деяких випадках послідовно використовується більше одного розгалужувача. Це називається архітектурою каскадного розгалуження [2].

Сигнали, що передаються по фідерному волокну, можуть бути розділені для надання обслуговування до 256 або 512 користувачам с ONU або ONT, що перетворює сигнали та надає користувачам доступ до інтернету. Кількість способів поділу низхідного OLT-сигналу до досягнення кінцевого користувача називається коефіцієнтом поділу (наприклад, 1:32 або 1:64).

У більш складних конфігураціях, коли радіочастотне відео транслюється паралельно службі передачі даних PON або додаткові служби PON співіснують в одній мережі PON, пасивні мультиплексори (multiplexer, MUX) в центральному офісі об'єднують довжину хвилі накладання відео та додаткові довжини хвиль служби PON на вихідне оптоволокно. Типовий приклад розподілення оптоволоконних кабелів із центрального офісу наведений на рисунку 1.3 [2].

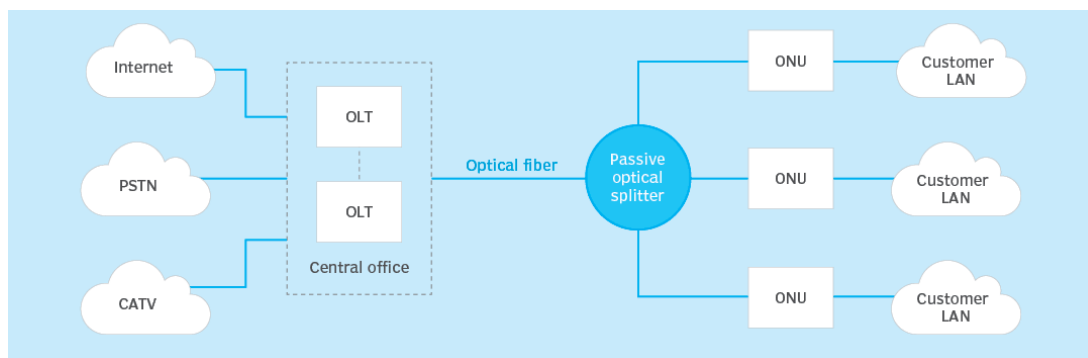


Рисунок 1.3 – Типовий приклад розподілення оптоволоконних кабелів із центрального офісу

На цьому рисунку показано, як обладнання OLT зазвичай розміщується у центральному офісі постачальника телекомунікаційних послуг. Звідти оптоволоконні кабелі розподіляються на відстані до 20 кілометрів від центрального офісу та поділяються на декілька основних вузлів за допомогою пасивного оптичного розгалужувача, який завершує оптоволоконне з'єднання поблизу демаркаційної точки клієнта. Потім ONU забезпечить передачу обслуговування мережі з використанням мідних або оптоволоконних кабелів Ethernet, що спростить клієнтам підключення до існуючих локальних мереж (LAN) офісу [3].

Інновацією, яка є невід'ємною частиною роботи PON, є мультиплексування з поділом хвиль (Wavelength Division Multiplexing, WDM), що використовується для поділу потоків даних на основі довжини хвилі (колір) лазерного випромінювання. Одна довжина хвилі може використовуватися передачі низхідних даних, тоді як інша для передачі висхідних даних. Ці виділені довжини хвиль варіюються в залежності від використовуваного стандарту PON і можуть бути присутніми в одному волокні. Мультиплексування з поділом хвиль наведено нижче на рисунку 1.4 [2].

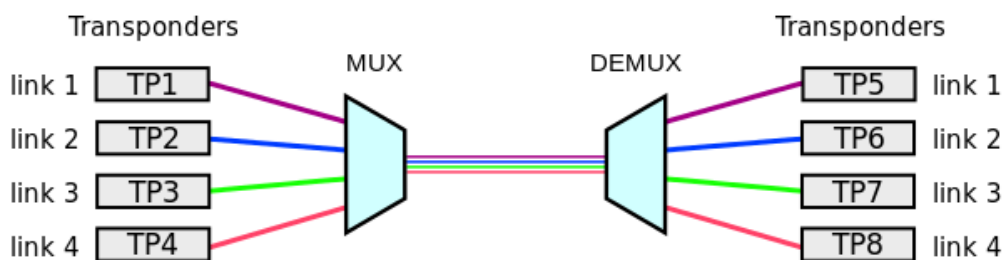


Рисунок 1.4 – Мультиплексування з поділом хвиль

Технологія множинного доступу з тимчасовим поділом (Time Division Multiple Access, TDMA), керована OLT, використовується для розподілу пропускної спроможності висхідного потоку кожного кінцевого користувача на певний період часу. Це запобігає колізії довжини хвилі та даних у розгалужувачах PON або OLT через одночасну передачу даних декількома ONT/ONU висхідної передачі даних. Це також називається передачею в пакетному режимі для висхідного потоку PON. Технологія множинного доступу з часовим поділом показана на рисунку 1.5 [2].

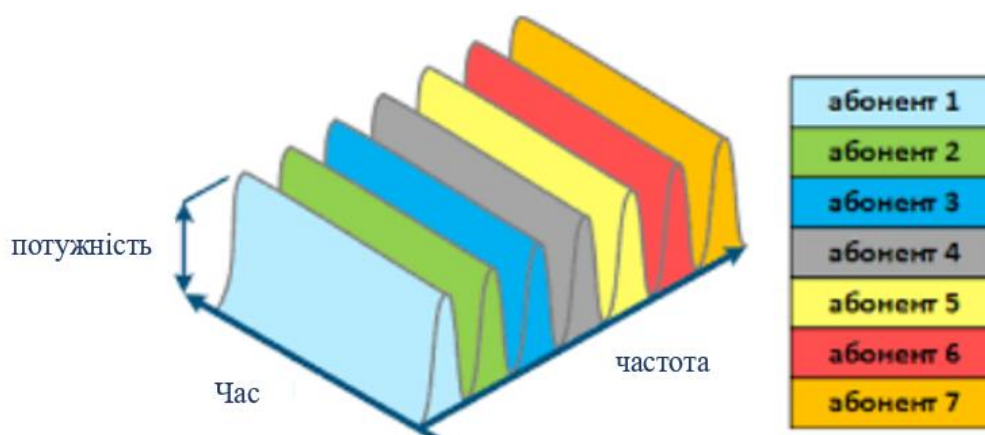


Рисунок 1.5 – Технологія множинного доступу з часовим поділом

1.3 Технологічні принципи організації мереж PON

Існує декілька архітектур для організації мережі PON. Метод підключення волокна до мережевого вузла (Fiber To The Node, FTTN). На сьогоднішній день FTTN використовується в основному як бюджетне рішення, що швидко впроваджується там, де існує розподільна «мідна» інфраструктура і прокладка оптоволокна нерентабельна.

Для організацій найпоширеніше використовують технологію FTTN покращили і назвали (Fiber To The Curb, FTTC), в основному використовуються мідні кабелі, прокладені всередині будівель, які, як правило, не схильні до проблем, пов'язаних з попаданням води в телефонну каналізацію, з великою протяжністю лінії і якістю мідних жил, що використовується, що дозволяє домогтися вищої швидкості передачі на мідному ділянці.

Наступна методика підключення волокна до будівлі (Fiber To The Building, FTTB). FTTB найбільш популярна технологія організації нових широкосмугових мереж. Така архітектура має певні переваги. Використання оптичного волокна в FTTB дозволяє збільшити швидкість передачі даних. Саме використання самонесучого оптичного кабелю з діелектричними силовим елементом та захисним покриттям позбавляє необхідності заземлення несучого троса, що виключає вихід обладнання з ладу від статичної електрики, та вирішує проблеми з контролюючими організаціями.

На відміну від FTTB у (Fiber to the Home, FTTH) це архітектура доведення оптичного волокна до квартири користувача. Кінцеве обладнання встановлюється безпосередньо у квартирі користувача.

Вони відрізняються головним чином тим, наскільки близько до терміналу підходить оптичний кабель. Найпопулярнішими архітектурами використовуваними в організації мережі на базі технології PON є FTTB та FTTH. На наведеному нижче рисунку 1.6 показані види архітектур сімейства технологій FTTx.

1.4 Основні топології пасивних оптичних мереж

У процесі організації мережі PON першим питанням виникає: «яку топологію найкраще використати на певній місцевості?». Саме грамотний вибір топології майбутньої мережі гарантує її подальший розвиток та залучення більшого числа користувачів.

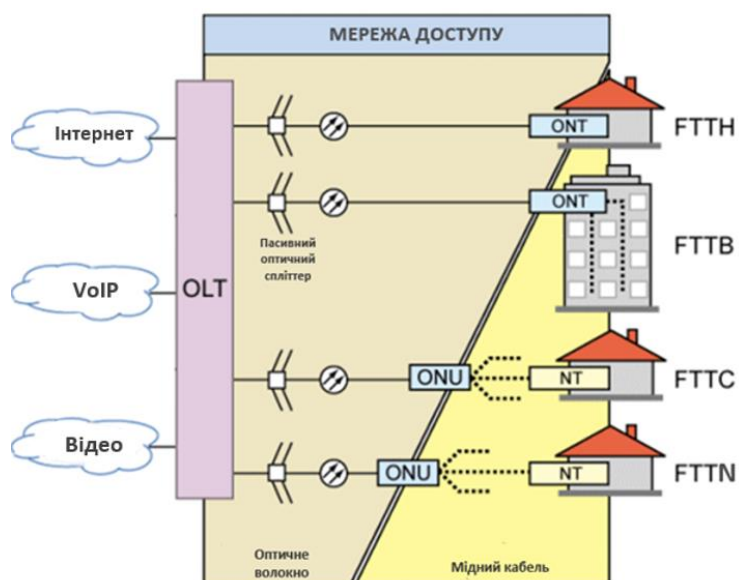


Рисунок 1.6 – Види архітектур сімейства технологій FTТх

PON може бути побудована на основі трьох основних топологій («дерево», «зірка», «шина») та їх комбінацій.

Першою на черзі буде топологія «зірка». У класичному вигляді в PON будь-якої топології використовується одне «магістральне» волокно на 64 абоненти. Іншими словами, один PON-порт OLT може обслуговувати до 64 ONU. Така топологія зручна для організації мережі у приватному секторі де є : одно- або двоповерхові будинки на 4-8 квартир з високою щільністю забудови [4].

Для організації топології «зірка» потрібно насамперед вибрати точку, по можливості рівновіддалену від усіх потенційних абонентів. У цій точці буде встановлений планарний розгалужувач 1 x 64. Більше про види та характеристики розгалужувачів буде розказано у другому розділі. До дільника з боку OLT необхідно підвести кабель найменшої ємності (1 волокно). Кабель більшої ємності закладати не має сенсу [4].

Найефективніший спосіб організації мережі топологією «зірка» є вибір будівлі або групи поряд розташованих будівель і береться в розрахунок кількість потенційних користувачів для виділення певної кількості ONU. Від розгалужувача у напрямку будівель прокладається волокно. Друга сторона волокна розварюється в безпосередній близькості від групи абонентів. Де встановлюється PON BOX для майбутнього підключення користувачів.

Використовують два типи топології «зірка». «зірка» з використанням розгалужувача 1 x 64 і «зірка» з використанням групи розгалужувачів 1 x 32 +

1 x 2. Варіант з використанням групи розгалужувачів менш поширений, але також використовується. Для організації такого топу топології «зірка» потрібен двоволоконний кабель і три розгалужувача: два 1 x 32 та один 1 x 2. Розгалужувач 1 x 2 встановлюється відразу після приймача (Small Form-factor Pluggable, SFP) OLT (трансівер). Виходи розгалужувача 1 x 2 з'єднуються із двоволоконним кабелем, який пролягає до абонентів. Далі в одному PON боксі розташувати один розгалужувач, а друге волокно, що залишилося, пустити транзитом далі до наступного PON бокса. Приклад такого методу зображений на рисунку 1.7.

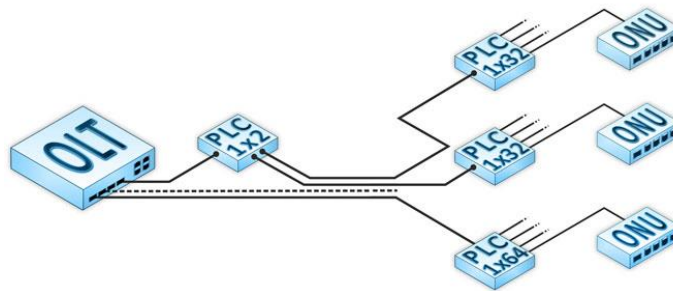


Рисунок 1.7 – Можливі види побудови топології PON типу «зірка»

Незважаючи на всю ефективність такої топології використовується вона рідко. Радіус цієї топології неефективно робити більше ніж 300-400 метрів через велику витрату оптичного кабелю.

Наступний метод організації мережі – це топологія «дерево». Розглянемо на основі технології GPON, оскільки у класичному вигляді вона має деревоподібну структуру.

Організація топології типу «дерево» представляє собою мережу, яка складається з головної станції на 4, 8 та більше сегментів, або променів, далі йде оптична розподільна мережа, де гілки – це оптичні волокна прокладені від OLT до ONU, а розгалуження – пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери). Кінцевою точкою «листя», яка приймає сигнал від OLT є оптичний мережний термінал користувача (ONU). Таким чином, на базі одного OLT можна побудувати 4, 8 або більше дерев ємністю 64 користувачів кожне.

Топологію «дерево» можна умовно розділити на 2 типи: дерево, що «одинокоросте» і «мультидерево». Перший тип дерев використовує географічно незалежні один від одного вузли поділу, тобто дерево «зростає» як окремо від інших подібних топологій. Другий, по суті, являє собою дерево 4-в-одному, гілки,

розгалуження та вузли розподілу якого «накладені» один на одного і географічно є однією і тією ж точкою або лінією. Іншими словами, різниця в тому, що перший тип дерева («одинок-зростаюче дерево») обслуговує до 64-х абонентів, використовуючи окремий кабель на кожен напрямок, у той час, як другий тип дерева «мультидерево» має велику ємність абонентів (256 і більше) та використовує загальний магістральний кабель (4, 8, або більше волокон) для обслуговування абонентів [4].

Крім того, використовуючи перший тип дерева, можна забезпечувати зв'язком невеликі локальні райони (до 4-х незалежних районів на один OLT), а використовуючи другий тип дерева можна побудувати потужну інфраструктуру в цілому населеному пункті, використовуючи групу OLT на стороні провайдера та одне магістральне дерево [4].

На рисунку 1.8 зображено перший тип дерева, що віддалено нагадує FTTH. В OLT встановлюється розгалужувач 1 x 8, який однією стороною підключається до PON порту OLT, а інший – до восьми волоконного кабелю, що відіграє роль «ствола» майбутнього дерева. При необхідності, від магістрального волокна відгалужується і розварюється одне волокно, з якого починає зростати «гілка» на 8 користувачів, а решта волокон пускаються далі. Кожне відгалуження від основної магістралі є «піддерево» і може бути виконане з використанням дільника 1 x 8 або комбінації розгалужувача 1 x 2 та 1 x 4 [4].

Другий тип дерева «мультидерево» є більш складнішим з точки зору організації. Класичне PON-дерево зручно організовувати у невеликих населених пунктах або мікрорайонах з високою щільністю забудови та великою кількістю потенційних абонентів, що розташовані поруч [4].

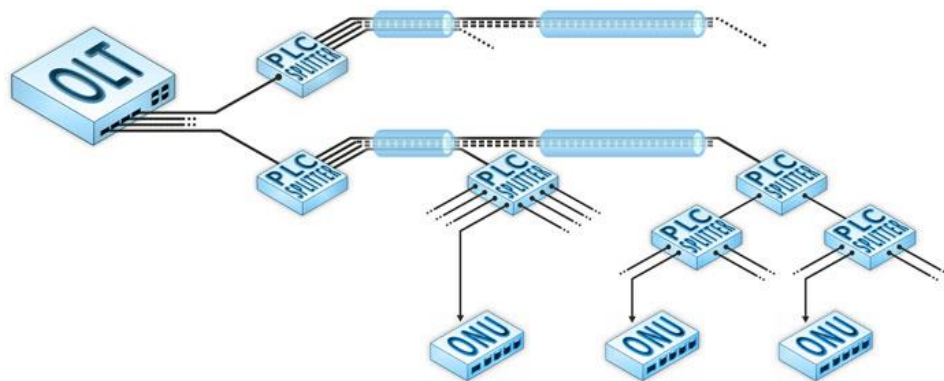


Рисунок 1.8 – Схема топології PON типу «дерево»

Основне завдання при побудові топології майбутньої мережі типу «класичне дерево» є грамотний вибір розташування вузлів розгалуження. Це пов'язано з тим, що до останнього (абонентського) вузла розподілу пасивне «дерево» буде «мультидерево», стовбур та гілки якого складаються з оптичного кабелю з числом волокон, кратним чотирьом. Гілки «мультидерева» обов'язково повинні покрити всю площу передбачуваного району підключення, а листя, як і в інших випадках, відводяться під абонентські підключення. Проектувати таку пасивну мережу зручно, розбиваючи житловий масив на квадрати і встановлюючи в центрі кожного квадрата розгалужувач 1 x N, що забезпечує транспорт сигналу N напрямків усередині цього квадрата. Організація топології PON типу «мультидерево» з використанням планарних розгалужувачів 1 x 4 зображено на рисунку 1.9 [4].

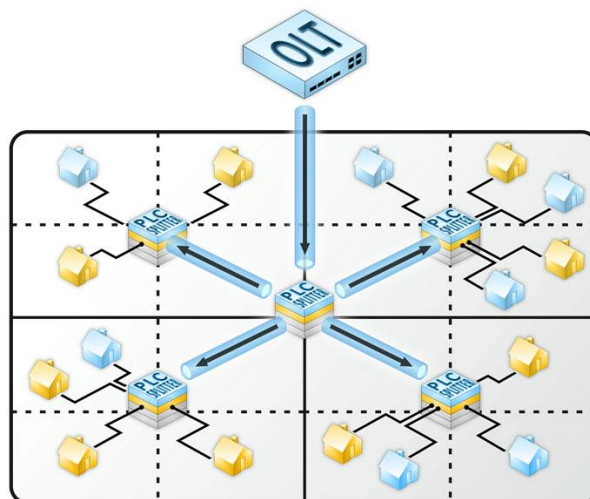


Рисунок 1.9 – Організація топології PON типу «мультидерево» з використанням планарних розгалужувачів 1 x 4

Мережа матиме вигляд N незалежних дерев (де N кратно чотирма) в одному кабелі. Кратність чотирма обумовлюється тим, що OLT має 4 PON-порти, кожен з яких здатний керувати деревом, що складається з 64 абонентів. Якщо запланованих підключень 256 або менше, то встановлюється один OLT і «мультидерево» будується на 4-хволоконному кабелі, якщо запланованих підключень більше – використовується OLT з більшою кількістю PON-портів для управління мережею та більше волокон у кабелі. Простіше кажучи, всі PON-порти OLT (які є корінням незалежних дерев) «упаковуються» в один спільний

стовбур, який ділиться на гілки. Гілки так само є загальними, і, по суті, «мультидерево» є групою «одинок-зростаючих» дерев, розташованих в одному магістральному кабелі, який починається і закінчується в одних і тих самих точках [4].

Після того, як позначені основні вузли розподілу та прокладено кабель, починається покроковий розвиток «мультидерева». У кореновому N-волоконному кабелі, що йде від станції до абонентських вузлів розподілу, використовується перше волокно (починає рости стовбур першого «одинок-зростаючого» дерева). У всіх вузлах поділу це волокно з'єднується необхідними розгалужувачем (перше «одинок-зростаюче» дерево починає розгалужуватися), інші волокна залишаються «розірваними». Таким чином, стає активним перше з N дерев у «мультидереві». Основний вузол розподілу при організації топології PON типу «мультидерево» наведений на рисунку 1.10 [4].

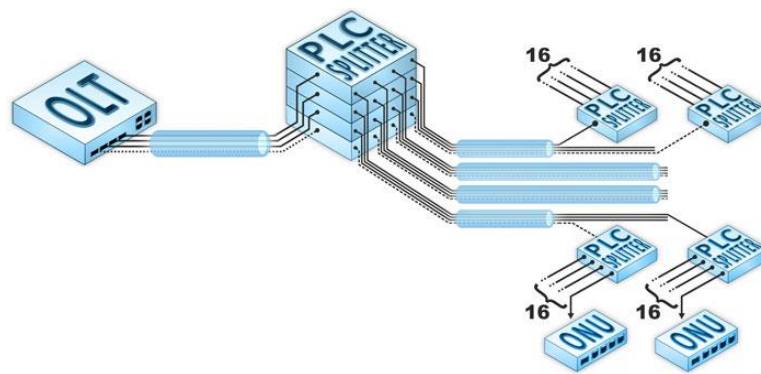


Рисунок 1.10 – Основний вузол розподілу при організації топології PON типу «мультидерево»

Як тільки будь-який з абонентських розгалужувачів на певному напрямку повністю заповнюється абонентами, у цьому ж напрямку починає розвиватися друге з N дерев – і поки всі волокна на всіх напрямках не будуть зайняті.

«Мультидерево» може бути побудоване на базі будь-яких розгалужувачів: 1 x 2 зварні з відсотковим співвідношенням потужності вихідних сигналів, планарні 1 x 2, 1 x 4, 1 x 8, 1 x 16 з однаковими показниками згасань на кожному виході. Концепція PON-дерева передбачає, що пасивну мережу можна побудувати з урахуванням комбінації будь-яких ділянок з урахуванням дотримання основного правила: кожне дерево не можна ділити більше, ніж 64 абонента з дотриманням оптичного бюджету системи 30дБ [4].

Основним достоїнством «мультидерева» є економія волокна та простота залучення нового користувача до мережі. Основні недоліки: складність первинного проектування та ризику, пов'язані з неправильним плануванням кількості можливих користувачів [4].

Отже і перший, і другий типи дерев, як уже було сказано вище, можуть розгалужуватися з використанням будь-яких ділянок $1 \times N$, утворюючи різноманітні химерні форми. Головне – дотримання двох правил:

- «Правило тридцяти децибел»;
- «Правило розподілу на 64».

Однак, як показує практика, не всі комбінації ділянок однаково корисні.

Насправді, всі можливі комбінації побудови мережі на основі технологій PON перерахувати просто неможливо, і в цьому велика їх перевага [4].

Організація пасивних оптичних мереж за допомогою топології «Шина». Дуже часто на території України зустрічаються невеликі населені пункти (села, село та ін.), що являють собою одну або кілька довгих вулиць, розташовані паралельно одна від одній. «Дерево» та «зірку» у таких населених пунктах організувати просто неможливо. Єдиний вихід використовувати топологію «шина».

Топологія «шина» в GPON-мережах розгортається на одному волокні з використанням каскаду зварних розгалужувачів 1×2 з відсотковим співвідношенням потужності вихідних сигналів. При цьому, вхід першого діляника підключається до PON-порту OLT, а решта каскаду будується за принципом «велика потужність – у лінію», тобто велика потужність вихідного сигналу надходить до магістральної лінії та живить весь подальший каскад діляників, а менша вихідна потужність відводиться для підключення користувачів [4].

Проте, як свідчить практика, робити одне відгалуження однієї конкретного абонента незручно. По-перше, збільшується кількість зварок на магістральному волокні, що знижує якість сигналу, особливо останніх ділянок каскаду. По-друге, зростає складність залучення до мережі нового користувача. Крім того, порушиться загальна схема загасання в лінії, що може негативно позначитися на якості сигналу останніх користувачів у каскаді [4].

Вихід із цієї ситуації полягає у комбінуванні зварних розгалужувачів 1×2 з відсотковим співвідношенням потужності вихідних сигналів, та планарних розгалужувачів 1×2 , 1×4 та 1×8 зображеному на малюнку 1.11.

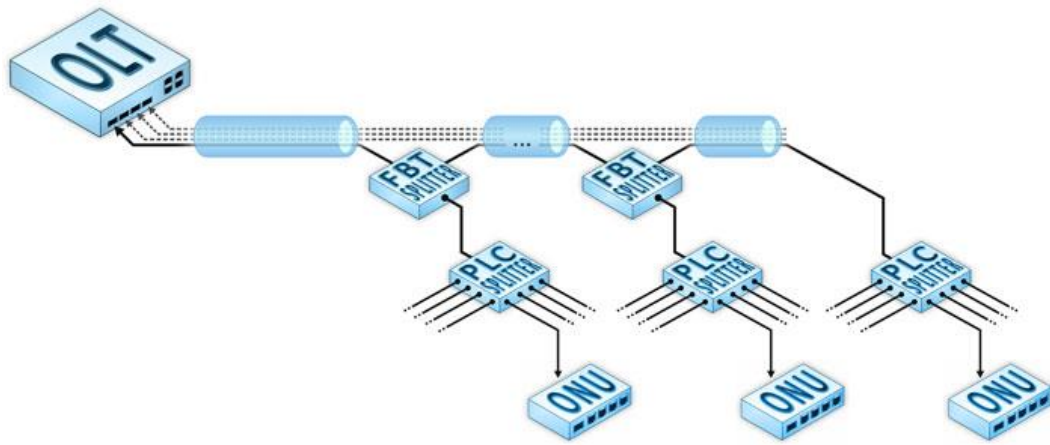


Рисунок 1.11 – Організація топології типу «шина»

Принцип організації топології «шина» зберігається, але відгалуження сигналу йде не на одного абонента, а на групу абонентів, які можуть бути розташовані в радіусі 200 та більше метрів від планарного розгалужувача [4].

Дана схема зручна тим, що при грамотному плануванні мережа стає легко масштабованою, і включення нового користувача здійснюється «в три кроки»: прокладання патч-корду зовнішнього виконання від планарного розгалужувача до користувача, підключення патч-корду в розгалужувачі, підключення патч-корду до абонентської ONU [4].

Крім того, топологію типу «шина» зручно використовувати у випадках, коли вулиці в населених пунктах досить багато потенційних користувачів, і водночас мають досить довгу довжину. У цьому випадку, «близькі» до головної станції OLT абоненти обслуговуються однією шиною (одним волокном і одним PON-портом OLT), а більш віддалені іншою шиною [4].

Практика показала, що найбільша ефективність топології типу «шина» досягається при комбінуванні зварних дільників 1 x 2 та планарних розгалужувачів 1 x 4 та 1 x 8. Для досягнення однакового стабільного сигналу на всіх ONU, у каскаді повинні бути встановлені зварні дільники: 5 % / 95 %, 10 % / 90 %, 20% / 80% [4].

Як вже було сказано вище, класичну «шину» (див. рис. 1.11) в PON будувати практично не має сенсу, оскільки один SFP OLT обслуговуватиме менше 64 - х абонентів через великі втрати, які вносить до магістральної лінії каскад зварних дільників 1 x 2 [4].

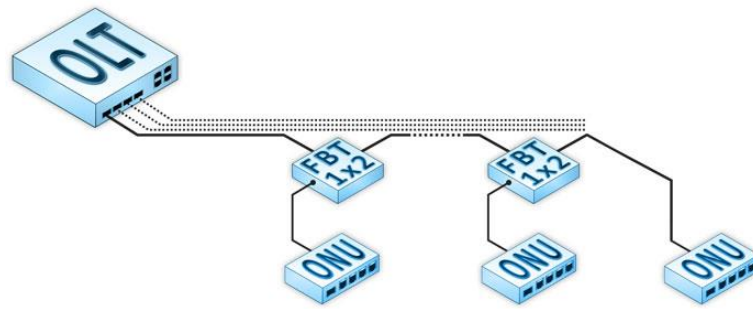


Рисунок 1.12 – Класичний приклад організації топології PON «шина»

1.5 Типи пасивних оптичних мереж

Усі технології PON мають практично однакову теоретичну пропускну здатність на оптичному рівні. Обмеження на пропускну здатність вихідного та нижнього потоків встановлюються за допомогою електричного оверлея, який є протоколом, що використовується для розподілу пропускну здатності за допомогою з'єднання. Перші системи PON, які отримали значне комерційне поширення, мали електричний рівень, побудований на протоколах асинхронного режиму передачі (ATM) або комутації осередків, і називалися (ATM PON, APON). Вони все ще використовуються сьогодні, хоча тепер використовується термін широкополосна сіть PON або (Broadband PON, BPON). Технології APON або BPON зазвичай мають пропускну здатність 155 мегабіт в секунду або 622 Мбіт/с, при чому остання форма є найбільшою. Передача даних за низхідному каналу здійснюється у вигляді пакетів осередків зі швидкістю 155 Мбіт/с [3].

Невеликим користувачам PON можуть бути виділені ділянки цієї смуги пропускання за допомогою застосування оптичних розгалужувачів і методів мультиплексування з розділенням довжини хвилі. PON також може служити магістральним каналом зв'язку між більш великою системою, такою як громадська телевізійна система з антенною, і мережею Ethernet по сусідству, будівлею або домашній мережі по коаксіальному кабелю [3].

Наступники PON на базі ATM PON працюють з використанням технологій Ethernet. Наприклад, гігабітна мережа PON (Gigabit PON, GPON) пропонує безліч варіантів швидкості в діапазоні від симетричної швидкості 622 Мбіт/с – однакової пропускну здатності висхідних і низхідних потоків – до асиметричної швидкості завантаження 2,5 гігабіт в секунду і пропускну здатності 1,25 Гбіт/с. GPON – це

гібридна система, яка використовує ATM для передачі голосу і Ethernet для передачі даних. GPON широко використовується в оптоволоконних мережах [3]. На сьогоднішній день технологія GPON дозволяє підключити 128 абонентів на один порт, тоді коли EPON всього 64 кінцевих користувача.

Новою версією PON на базі Ethernet слугує технологія EPON (Ethernet PON, EPON). Вона базується на зовсім іншому стандарті IEEE 802.3ah, тоді як попередники використовували стандарт ITU-T. Як одна з технологій PON, EPON має загальні особливості, такі як висока пропускна здатність, далеке покриття, гнучкі мережі та пасивні проміжні вузли мережі. Застосовуючи до мереж широкопasmового доступу, він може покращити пропускну здатність і продуктивність мережі та зменшити витрати на обслуговування.

Більш пізнішою версією EPON є 10 G-PON. Ця технологія забезпечує різні конфігурації роботи: одна симетрична, що працює зі швидкістю передачі даних 10 Гбіт/с в обох напрямках та асиметрична працююча зі швидкістю передачі даних 10 Гбіт/с при швидкості висхідного потоку 2,5 Гбіт/с. Базується на оновленому стандарті IEEE 802.3av. 10 G EPON має велику пропускну здатність з коефіцієнтом поділу 1:128. Інші технології PON, як такий стандарт NG PON2 наступного покоління Міжнародного союзу електрозв'язку (International Telecommunication Union, ITU) Сектора стандартизації електрозв'язку, знаходяться в розробці і, як очікується, в майбутньому досягнуть швидкості до 80 Гбіт/с [3].

На останок треба зазначити, що технологія PON продовжує вдосконалюватися. Стратегічні та економічні переваги розгортання PON стають дедалі очевиднішими. Завдання, які вирішують розробники майбутніх поколінь, включають покращену далекобійність та вищі коефіцієнти розгалуження для ще більшого зниження витрат на кабель. Ці удосконалення у поєднанні зі швидкістю, що досягає зараз 10 Гбіт/с, а невдовзі досягне 50 Гбіт/с і вище, допоможуть продовжити поширення пасивних оптичних мереж у розумних містах, університетах, лікарнях та корпораціях, які складають підключений світ завтрашнього дня [2].

В наступному розділі буде обґрунтування вибору топологічної структури і компонентів мережі PON.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТОПОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ І КОМПОНЕНТІВ МЕРЕЖІ PON ДЛЯ СМТ. КОЧЕТОК

2.1 Вибір і обґрунтування активного мережного обладнання PON

У сервері даної мережі будуть розташовуватися наступне обладнання, огляд якого буде нижче. Оптичним лінійним терміналом я обрав OLT BDCOM P3608, зображений на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – OLT BDCOM P3608

BDCOM P3608 – оптичний лінійний термінал для мереж GPON. Відповідає вимогам стандартів IEEE 802.3ah, YD/T 1475-2006 та STC2.0/2.1. Підтримує автоматичне визначення та роботу з ONU/ONT різних виробників. Комутатор P3608-2TE має вісім PON портів, які підтримують симетричну швидкість 1,25 Gbps, але фактично для абонентів буде доступна швидкість в 1 Gbps, так як у технології GPON використовується канальне кодування, на яке і витрачається 0,25 Gbps, що залишилися. Максимальна дистанція на якій можуть працювати порти PON, враховуючи розгалуження мережі, становить 20 км. Все обладнання серії P3600 має коефіцієнт розгалуження 1 до 64, що дозволяє підключити до комутатора 512 абонентських терміналів. Система живлення у комутаторів серії P3600 є модульною, що дозволяє встановлювати два блоки живлення, а також дає можливість заміни на гарячу блоку живлення, що вийшов з ладу. Комутатор укомплектований одним блоком живлення DC 36-72V. Корпус комутатора призначений для монтування серверної стійки. Характеристики OLT BDCOM P3608 наведена в таблиці 2.1 [5].

Таблиця 2.1 – Характеристики OLT BDCOM P3608

| | |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кількість портів PON | 8 x GE-PON |
| Кількість абонентів | до 512 |
| Коефіцієнт розгалуження | 1:64 |
| Uplink порти | 4 x 100/1000Mbps SFP, 4 x 100/1000Mbps SFP/RJ45 Combo, 2 x 1000/10000 SFP+ |
| ACL | L2 - 4 ACL, IPACL, фільтрація трафіку на основі IP адреси одержувача або відправника, L4 TCP/UDP порт, IP пріоритет, ToS, ACL на основі часу |
| Безпека/Шифрування | Підтримка стандартів China Telecom CTC 2.0/2.1/3.0, Стандартне та розширене управління OAM, Шифрування даних, Управління автентифікацією ONU, повідомлення про випадки реєстрації не дозволенних ONU, |
| Потужність передавача | +7 дБ |
| Пропускна спроможність | 128 Гбіт/с |
| Робоча відстань | 20 км |

Наступним обладнанням слугує комутатор Dell PowerConnect 6024. Зображений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Комутатор Dell PowerConnect 6024

Комутатори Dell PowerConnect 6024 містять по 24 порти Gigabit Ethernet для мідної кручений пари, а також 8 комбінованих портів для підключення по звитій парі або оптоволокну. Комутатори підтримують більшість сучасних мережевих

протоколів, мінімізують витрати на купівлю оновлених версій програмного забезпечення та відповідають сучасним індустріальним стандартам. Резервні блоки живлення та вентилятори з можливістю гарячої заміни дозволяють підвищити надійність та знизити час простою обладнання. На додаток до сказаного комутатори Dell PowerConnect 6024 містять інтегрований кабельний тестер, що дозволяє швидко встановити обладнання в локальну мережу та контролювати його роботу, негайно визначаючи несправність у кабельній мережі. Характеристики комутатора Dell PowerConnect 6024 наведені в таблиці 2.2 [6].

Таблиця 2.2 – Характеристики комутатора Dell PowerConnect 6024

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кількість портів PON | 8 SFP/RJ45 Combo. |
| Кількість портів Gigabit Ethernet | 24 шт. |
| Комутаційна здатність | 48 Гбіт/с. |
| Кількість MAC адрес | 14000 записів |
| Безпека/Шифрування | Покращена система безпеки з використанням протоколу IP та MAC Access Control Lists (ACL) шифрування потоку даних Secure Socket Layer (SSL) та Secure Shell (SSH); |

Комутатор Dell PowerConnect 6224F надає повний набір функцій із чудовою продуктивністю для малих та середніх підприємств. Зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Комутатор Dell PowerConnect 6224F

Цей 24-портовий комутатор Gigabit Ethernet Layer 3 пропонує додаткові 10 Gigabit Ethernet висхідних каналів і підтримує останню версію інтернет-протоколу IPv6, що забезпечує ширшу масштабованість по всьому світу. Dell PowerConnect 6224F забезпечує доступність корпоративного класу з часом перемикання при збої, що забезпечує відновлення після збою менше 250 мс

для будь-якого стекового комутатора, включаючи відмову основного пристрою у всіх конфігураціях. Крім того, високопродуктивне стекування підтримується для дванадцяти систем, а розширені функції безпеки та якості обслуговування (QoS) роблять цей комутатор ідеальним для таких програм, як передача голосу по IP, маршрутизація рівня 3, високопродуктивні кластерні обчислення (HPCC) та iSCSI. місце зберігання. Розширені функції моніторингу включають підтримку sflow, можливості SNMP та повний графічний інтерфейс із графічним звітом. У разі збою комутатора, функції високої доступності підтримують потік трафіку в стеку, включаючи критично важливі сеанси голосового зв'язку та зберігання. Комутатор PowerConnect 6224F підтримує до чотирьох 10-гігабітних оптоволоконних (SFP+) та двох мідних висхідних ліній Ethernet 10 ГБ-Т для прямого підключення до серверів 10GE, маршрутизаторів, магістральних мереж підприємства та центрів обробки даних. Характеристика комутатора Dell PowerConnect 6224F наведені в таблиці 2.3 [8].

Таблиця 2.3 – Характеристика комутатора Dell PowerConnect 6224F

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Кількість слотів SFP/SFP+ | 24 шт. |
| Кількість RJ-45 Ethernet портів для основного підключення | 4 шт. |
| Кількість слотів для SFP модулів | 4 шт. |
| Кількість MAC адрес | 16000 записів |
| Комутаційна здатність | 136 Гбіт/с. |
| Швидкість передачі даних | 1 Гбіт/с. |
| Протоколи керування | IGMPv2, SNMPv1/v2c/v3 |
| Підтримані мережеві протоколи | Telnet, RIPv1/v2, VRRP, OSPFv1/v2/v3, CIDR, ICMP, IRDP, VRRP, ARP, DVMRP, TCP/UDP |

Для підключення нового OLT до сервера у головному офісі потрібен відповідний модуль. Таким є модуль SFP 1000BASE-BX 1SM SC 3 км Tx 1550 nm / Rx1 310 nm. Модуль SFP 1000BASE-BX 1SM зображений на рисунку 2.4.

Серія даних оптичних модулів призначена для обміну даними по оптико-волоконному кабелю як в одномодовому, так і в багатомодовому режимі на дистанцію в кілька десятків кілометрів, визначених стандартом IEEE 802.3ae.



Рисунок 2.4 – Модуль SFP 1000BASE-BX 1SM SC 3 KM

Особливістю даної моделі є технологія двонаправленої передачі, яка застосовується для розширення можливостей існуючої інфраструктури. Її принцип полягає у використанні двох хвиль різної довжини для передачі по одному оптичному кабелю вхідного Tx і вихідного сигналу Rx. Підтримує можливість гарячої заміни, сумісний із усім обладнанням, що має слоти SFP+. У комутаторі може бути замінений або доданий без зупинки роботи всієї мережі. Реалізовано підтримку інтерфейсу цифрової діагностики та моніторингу (Digital Diagnostic Monitoring, DDM).

DDMI забезпечує моніторинг:

- температури;
- напруги живлення;
- відхилення струму лазера;
- випромінюваної оптичної потужності;
- оптичної потужності, що приймається.

Роз'єм конектора виконаний у форматі LC UPC. Повна відповідність промислового стандарту виробництва SFP-трансіверів та IEEE 802.3z гарантує сумісність із обладнанням сторонніх виробників, які відповідають тим самим вимогам. Характеристики цього SFP модуля наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики модуля SFP 1000BASE-BX 1SM SC 3 KM

| | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Довжина хвилі | Tx 1550 nm / Rx 1310 nm |
| Дальність передачі даних | 3 km |
| Протоколи | SFP+ MSA Compliant, CPRI, eCPRI |
| Чутливість приймача | <-23 dBm |
| Максимальна швидкість передачі | 1.25 Gbps |

2.2 Пасивне обладнання xPON (PLC)

Топологія PON стандартно є деревоподібною, проте «дерево» може бути перероблено в «шину» чи «зірку» – все залежить, в першу чергу, від фізичного становища клієнтів відносно один одного. Виходячи зі становища клієнтів (яких краще знаходити та позначати на карті), вибираються ділянки, яких існує наймовірніша кількість. Розгалужувачі бувають Х- подібні та Y-подібні, зварні (сплавні) та планарні. Розрізняються вони технологією виробництва та показниками згасань на кожному «хвості» після поділу сигналу та кількістю «вхідних хвостів». Х-подібні ділянки в PON використовуються для домішки в низхідний потік телебачення, Y-подібні – для стандартної побудови дерева. Застосування розгалужувачів з різними коефіцієнтами ділення вихідних портів дозволяє регулювати оптичний бюджет потужностей в різних сегментах [8].

Планарні ділянки або розгалужувачі (Planar Lightwave Circuit Splitters, PLC) сплиттера – основний пасивний компонент PON. Планарні ділянки працюють у широкому діапазоні хвиль 1260 нм ... 1650 нм і мають найкращі показники згасання на порт відносно зварних. Ділянки мають як SC/UPC, так і SC/APC конектори [9]. PLC виготовляються у кілька етапів. Перший з них полягає в нанесенні на деяку підкладку шару-оболонки, що відбиває. На цей шар наноситься матеріал хвилеводу (скло), на якому формується маска для травлення. Результатом процесу травлення є система хвилеводів, що є по суті оптичним ділянком. Система планарних хвилеводів покривається другим шаром-оболонкою, що відбиває. До готових планарних хвилеводів приварюються пігтейли, після чого пристрій поміщається в корпус з пластику або металу. Необхідна кількість розгалужень PLC-сплітера досягається поєднанням розгалужувачів 1×2 . Ця технологія дозволяє виготовляти компактні та надійні PLC з числом вихідних волокон до 64. Планарні розгалужувачі мають більш стабільні і точні характеристики на виходах, працюють у широкосмуговому діапазоні хвиль 1260 нм...1650 нм і мають менше загасання на порт. Планарні ділянки мають різноманіття варіантів. Від PLC Splitter 1×2 зображеному на рисунку 2.5., до PLC Splitter 1×64 зображеному на рисунку 2.6 [8].

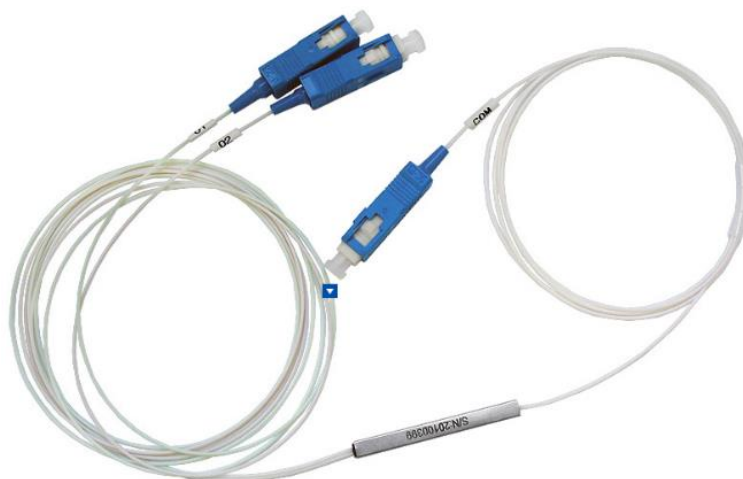


Рисунок 2.5 – PLC Splitter 1x2

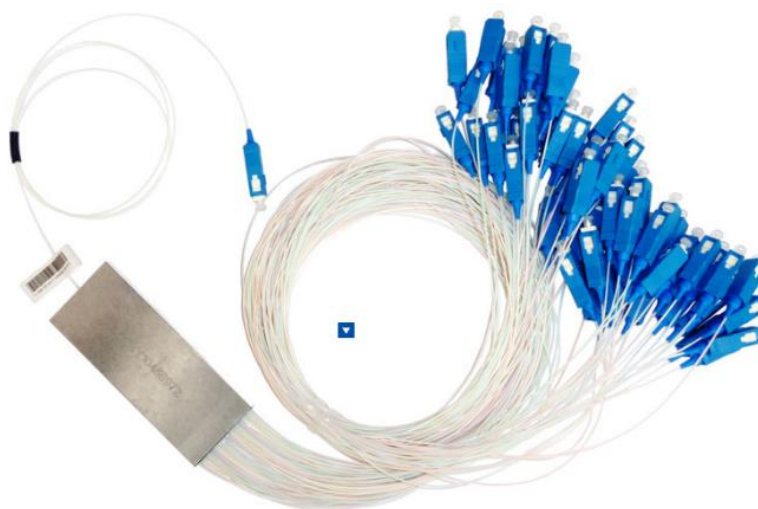


Рисунок 2.6 – PLC Splitter 1x64

Отже PLC Splitter – це низька вартість розподілу волокон в пасивних оптичних мережах. Конструкція розгалужувача PLC заснована на плоскому хвилеводі, а головний компонент PLC розщеплювач забезпечує високі оптичні характеристики. Коефіцієнти розщеплення спліттерів PLC можуть становити 1 x 2 до 64, які можуть відповідати різним номерам абонентів і архітектурам PON. Крім того, пакет розгалужувача PLC може використовувати різні форм-фактори, щоб відповідати різним середовищам реалізації. Нижче приведена таблиця 2.5 характеристик всіх PLC розгалужувачів. Але в реальному виконанні показники можуть відрізнитися.

Таблиця 2.5 – Характеристики PLC розгалужувачів

| Параметр | | Одиниця вимірювання | Втрати для різних типів розгалужувачів | | | | | | | | | |
|--------------------|----------|---------------------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Тип PLC | | | 1x2 | 1x3 | 1x4 | 1x6 | 1x8 | 1x12 | 1x16 | 1x24 | 1x32 | 1x64 |
| Довжина хвилі | | нм | 1260 ~ 1650 | | | | | | | | | |
| Втрата | стандарт | дБ | 3.6 | 6.0 | 7.0 | 9.2 | 10.3 | 12.2 | 13.6 | 15.8 | 16.6 | 20.1 |
| | максимум | дБ | 4.3 | 6.2 | 7.4 | 9.5 | 10.7 | 12.5 | 13.9 | 16.0 | 17.2 | 21.5 |
| Однорідність макс. | | дБ | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 2.0 |
| PDL | | дБ | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| TDL | | дБ | 0.5 | | | | | | | | | |
| Зворотна втрата | | дБ | ≥55 (APC connectors) / 50 (UPC connectors) | | | | | | | | | |
| Направленість | | дБ | ≥55 | | | | | | | | | |
| Робоча температура | | С° | -40 С° ~ + 85 С° | | | | | | | | | |

*поляризаційно-залежні втрати (PDL), Tactical Data Link (TDL)

2.3 Пасивне обладнання xPON (FBT)

Зварні дільники (Fused Biconical Taper Splitters, FBT), або коплери (couplers) основний пасивний компонент PON. Зварні дільники мають гірші оптичні показники щодо планарних (мають від одного до трьох вікон прозорості; більше загасання на порт). Позитивною якістю зварного дільника є можливість «нерівномірного» поділу – потужність оптичного вхідного сигналу можна відсотково розгалужувати на виході. Крім того, ціна FBT спліттерів нижча, ніж у PLC, що також позначається на їхній популярності. Дільники мають як SC/UPC, так і SC/APC конектори. Зварні розгалужувачі виконані за технологією Fused Biconical Taper: два волокна з віддаленими зовнішніми оболонками сплавляють в елемент з двома входами і двома виходами (2 / 2), після чого один вхід відрізають і закривають невідбивними матеріалами, формуючи розгалужувачі 1 / 2. У цьому потужність сигналу кожному виході дільника дорівнює певної відсоткової частини від потужності сигналу на вході дільник (зазвичай 50 % / 50 %). Можна забезпечити поділ потужності на інших пропорціях, наприклад 20 % / 80 % (20 % потужності сигналу йде у одне плече, 80 % – в інше). Зварні розгалужувачі зазвичай мають від одного до трьох вікон прозорості (1310 нм, 1490 нм або 1550 нм) Приклад виконання такого розгалужувача зображений на рисунку 2.7 [10].

Вікно прозорості – це діапазон довжин хвиль оптичного випромінювання, в якому має місце менше, порівняно з іншими діапазонами, загасання випромінювання у волокня. Характеристики всіх FBT приведена в таблиці 2.6.

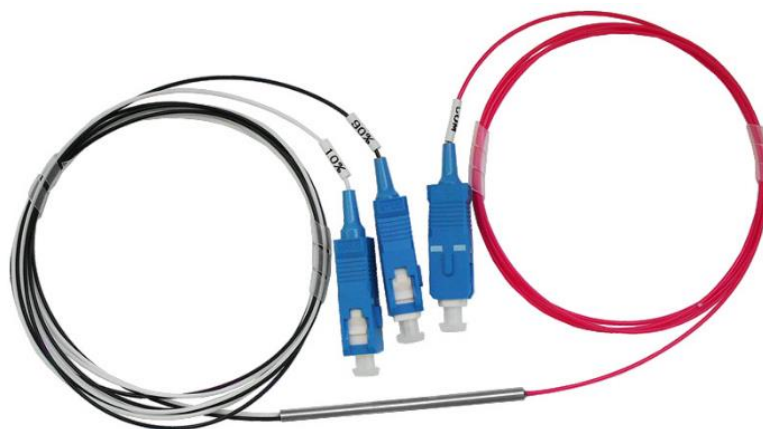


Рисунок 2.7 – Розгалужувач 10 % - 90 % 1 x 2

Таблиця 2.6 Характеристики FBT розгалужувачів

| Тип FBT | Загасання, що вноситься (дБ) | Поворотні втрати (дБ) | | Робочі довжини хвиль | Температура Експлуатації (С°) | Габаритні розміри металевого корпусу (мм) |
|---------------------|------------------------------|-----------------------|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| | | UPC | APC | | | |
| 0,5 %-95 % 1 x 2 | 13.70 / 00.35 | 50 | ≥ 55 | 1310 нм 1490 нм 1550 нм | - 40 ~ + 85 / - 20 ~ + 75 | ø 3.0 x 54 |
| 10 %-90 % 1 x 2 | 10.50 / 00.60 | 50 | ≥ 55 | | | |
| 20 %-80 % 1 x 2 | 07.40 / 01.15 | 50 | ≥ 55 | | | |
| 30 %-70 % 1 x 2 | 05.60 / 01.80 | 50 | ≥ 55 | | | |
| 40 %-60 % 1 x 2 | 04.30 / 02.50 | 50 | ≥ 55 | | | |
| 50 %-50 % 1 x 2 | 03.30 / 03.30 | 50 | ≥ 55 | | | |

Таким чином, за підсумками, планарні дільники зазвичай рівномірні за показниками згасань після поділу і ділять вхідний сигнал на 2 N вихідних «хвостів» (наприклад, 1 x 2, 1 x 4 ... 1 x 64), зварні ж бувають 1 x 2 і мають нерівномарнії згасання на вихідних «хвостах» виходів, відмінним від 2 – це результат комбінації дільників 1 x 2 із співвідношенням вихідної потужності від 1

/ 99 до 50 /5 0). Зварні дільники з кількістю хвостів більше ніж 1 x 4 використовуються рідко, тому що мають нерівномірні, що не піддаються статистиці загасання на виходах.

2.4 Порівняння дільників

Підбиваючи підсумки, можна відзначити, що планарні дільники [11]:

- рівноплечі, показники загасання сигналу кожному виведенні приблизно однакові;

- кількість висновків може бути від 2 до 128;

- можуть мати різні роз'єми на входах/виходах (для механічного з'єднання) або їх не мати (для зварювання з магістральним/абонентським кабелем);

- невеликі за розміром, зазвичай, упаковані в металеву профільну трубку;

- великий відсоток «схожості» оптичних характеристик: кілька фізично однакових дільників (наприклад, 1 x 16) мають практично однакові показники загасань кожному висновку ($\pm 0,2$ дБ);

- мають широкий діапазон світлового сигналу (1260..1650 нм), що дозволяє використовувати їх у більшості інших додатків, не пов'язаних з технологією PON.

Зварні дільники бувають лише з двома висновками (1 x 2 або 2 x 2).

Дільники з різним коефіцієнтом поділу потужності вхідного світлового сигналу:

- рівноплечі (50 / 50) і нерівноплечі (40 / 60, 30 / 70, 0,5 / 95 та ін.);

- можуть мати різні роз'єми на входах/виходах (для механічного з'єднання) або не мати їх (для зварювання з магістральним/абонентським кабелем);

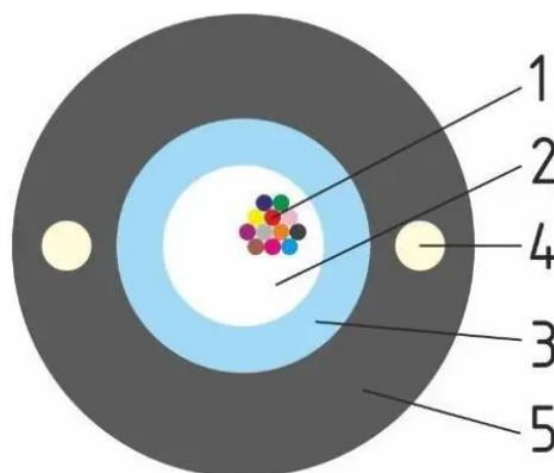
невеликі за розміром зазвичай упаковані в металеву круглу трубку. Виняток становлять FBT дільники, що мають більше 2-х виходів, які упаковані у досить об'ємну пластикову коробку (наприклад, 14 x 10 x 2 см);

- малий відсоток «схожості» оптичних характеристик, тобто два дільники з однаковим коефіцієнтом поділу можуть досить відрізнитися за показниками згасань на кожному виведенні один від одного ($\geq 0,2$ дБ);

- мають до трьох вікон прозорості, у яких оптичний сигнал має найменше згасання (в районі 1310 нм, 1490 нм та 1550 нм), що обмежує використання FBT дільника технологією PON.

2.5 Обґрунтування топологічної структури мережі PON

Через топологічні особливості місцевості було вирішено провести прокладку ВОЛЗ по опорах. При повітряному прокладанні оптоволоконного кабелю правила прокладання ВОЛЗ вимагають проводити розрахунок всіх навантажень, що діють на повітряно-кабельний перехід. Довжину кабелю потрібно розраховувати з урахуванням провису, здатного змінюватися в залежності від коливань сили натягу та температури. Надійність прокладки оптоволоконного кабелю по опорах гарантує натяг, що не перевищує 60 % його граничної міцності на розрив. У будь-якому випадку при прокладанні оптоволоконних кабелів важливо забезпечити якомога менш напружені умови і виконувати правила прокладання ВОЛЗ і рекомендовані виробником фізичні обмеження. Для даної мережі, як магістральний кабель я обрав Одескабель ОКТ-Д(2,7)П-12Е1-0,36Ф3,5/0,22Н18-12 підвісний оптоволоконний. Кабель в розрізі зображений на рисунку 2.8 [12].



1. Оптичні волокна ІТУ-Т G.652D.
2. Гідрофобний заповнювач.
3. Центральна трубка.
4. Силовий елемент.
5. Оболонка із поліетилену.

Рисунок 2.8 – Одескабель ОКТ-Д(2,7)П-12Е1-0,36Ф3,5/0,22Н18-12

Розшифровка маркировки волоконно-оптичного кабелю ОКТ-Д(2,7)П-12Е1-0,36Ф3,5/0,22Н18-12:

- ОК – оптичний кабель;

- Т – тип серцевини - центрально розташована трубка;
- Д – діелектричний – склопластиковий стрижень;
- 2,7 – допустиме зусилля, що розтягує, кН;
- П – матеріал захистного покриття оболонка з поліетилену;
- 12 – кількість волокон;
- E1 – тип влокна одномодове ОВ G.652;
- 0,36Ф3,5 – коефіцієнти згасання та хроматичної дисперсії 0,36 дБ/км і 3,5 пс/нм·км на опорній довжині хвилі 1310 нм (Ф);
- 0,22Н18 – коефіцієнти згасання та хроматичної дисперсії 0,22 дБ/км і 18 пс/нм·км на опорній довжині хвилі 1550 нм (Н);
- 12 – загальна кількість волокон.

Загалом процес прокладання оптоволоконного кабелю, відповідно до правил прокладання ВОЛЗ, складається з підготовчого та основного етапів. В рамках першого з них здійснюється вхідний контроль будівельних довжин: зовнішній огляд кабелю та вимір його оптичних характеристик. Під час зовнішнього огляду перевіряється цілісність кабельного барабана, наявність видимих ушкоджень ізоляції кабелю. У комплекті з кабельною катушкою обов'язково має бути заводський паспорт на кабель. На цьому етапі слід перевірити відповідність маркування будівельної довжини, вказаної в паспорті, маркування, вказаному на барабані. При вимірі оптичних характеристик у першу чергу потрібно визначити згасання оптоволоконного кабелю та порівняти результати з паспортними даними. Працюючи з одномодовими кабелями, найчастіше перевіряються згасання на кілометр у кожному волокні двох довжинах хвиль: 1550 і 1310нм. Заодно перевіряється цілісність оптичних волокон. Для перевірки зазвичай використовують оптичні рефлектометри [12].

Для з'єднання кабелю застосовуються такі способи, як зварювання або механічне поєднання, кожен з них має свої сильні і слабкі сторони. Зварювання оптичних волокон здійснюється за допомогою зварювальних апаратів для оптоволокон. Цей процес проходить у кілька етапів: обробка кабелю та підготовка оптичного волокна, сколювання за допомогою високоточного сколювача, саме зварювання та оцінка результату. Зварне з'єднання повсюдно застосовується в мережах доступу та на магістралях, воно по праву вважається найнадійнішим та найякіснішим з'єднанням. За допомогою цього можна досягти втрат на зварному з'єднанні порядку 0,01dB. Саме цей спосіб і буде використано для з'єднання кабелю у солітерах.

Ключовими елементами монтажу слугують:

- траверса для оптичного кабелю, зображена на рисунку 2.9;
- натяжний анкерний затискач Клин, зображений на рисунку 2.10.
- приклад повний монтажу кабелю продемонстрований на рисунку 2.11.

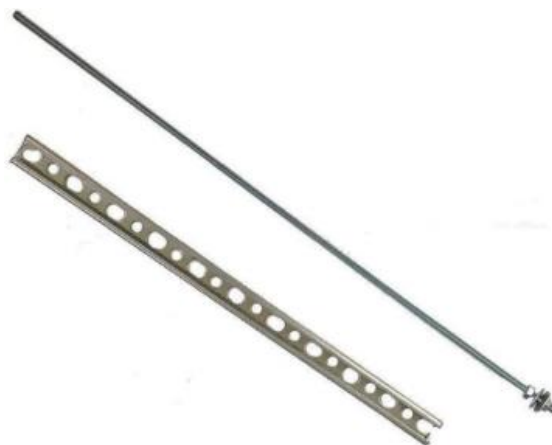


Рисунок 2.9 – Траверса для оптичного кабелю



Рисунок 2.10 – Натяжний анкерний затискач Клин



Рисунок 2.11 – Приклад монтажу кабелю на стовпі

Монтаж по опорах достатньо швидкий і простий у реалізації. Спочатку робітник чіпляє траверсу, потім встановлює в траверсу затискач і натягує кабель між стовпами як може сильніше. Оптичний PON Вох - це пластикова коробка (бокс) всередині якої розміщуються сплайс-касета з 12 тримачами для термоусаджуваних гільз або механічних з'єднувачів у кожній, відкидний крос-адаптер на 16 адаптерів та елементи кріплення ВОК (фіксатори та напрямні). Повністю укомплектований, робочий PON Вох зображений на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Змонтований бон бокс з працюючими абонентами

Розташування таких боксів залежить від кількості потенційних абонентів. Краще їх встановлювати на відстані рівній для підключення 4-8 абонентів в залежності від густоти населеності. Зазвичай це вирішується на етапі проектування, на місцевості зоривим обстеженням. PON Вох зазвичай розташовується нижче лінії прокладки кабелю. Обслуговування дуже легке, тому що PON Вох розташований у повному доступі, але достатньо високо, для звичайної людини без сходинок та спеціального ключа від бокса. Кожен такий PON Вох з'єднується методом зварки, як було описано вище.

Завдяки рельєфу та місцевості даної локації, а саме смт. Кочеток, найкращім рішенням буде використання топології «зірка». На рисунках 2.13 та 2.14 зображена карта та попереднє розташування PON-боксів.

Схема включає розгортання мережі для 400 первинних потенційних абонентів, яка включає в себе 78 PON боксів з розгалуженням до 4-х клієнтів, 11 PON боксів з розгалуженням до 4-х клієнтів та зварюванням на вході та виході з боксу. Первинно буде використано 8 волокон та раціонально їх розподілено.

Отже в цьому розділі був проведений вибір обладнання, метод прокладання кабелю та самого кабелю для побудови мережі. В наступному розділі буде обґрунтування та аналіз протоколів для використання на обладнанні мережі.

3 АНАЛІЗ ПРОТОКОЛІВ АКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ PON

3.1 Протоколи у магістральному обладнанні, RSTP

Для того, щоб майбутня мережа працювала стабільно та автоматично, існують безліч протоколів, я розгляну декілька із них в даному розділі.

Першим таким протоколом є протокол швидкого сполучного дерева (Rapid spanning tree protocol, RSTP: IEEE 802.1w) – це мережевий протокол, який забезпечує високу доступність та «безконтактну» топологію в мережах Ethernet. Основною перевагою RSTP є те, що вони забезпечують високу доступність у порівнянні з традиційною топологією «послідовний ланцюжок». Коли збій мережі відбувається, пристрої можуть продовжувати обмін даними по мережі, оскільки дані можуть бути перенаправлені в обхід збою. Критично важливі системи залежать від високого рівня стійкості до збоїв та апаратних збоїв і RSTP забезпечує ключове поліпшення порівняно з традиційними мережевими архітектурами за рахунок мінімізації часу простою. RSTP запобігає мережевим циклам при використанні кількох комутаторів, блокуючи надлишкові шляхи в мережі. По суті, протокол є набором правил, за допомогою яких комутатори в мережі визначають найбільш ефективний спосіб відправлення ширококомовних повідомлень по мережі шляхом встановлення «кореневого моста» і блокування певних портів з метою запобігання мережевих циклів [13].

Є три основні причини, через які важливо мати мережу Ethernet без циклів:

- нестійкі таблиці MAC-адрес. Таблиця MAC-адрес – це те, що дозволяє комутатору розуміти топографію мережі. Це спосіб, за допомогою якого комутатор дізнається, звідки надходить трафік у мережі та куди його потрібно відправити. За наявності циклу мережі комутатор може отримувати ідентичне ширококомовне повідомлення від двох різних комутаторів в мережі. Щоразу, коли приймається нова копія ширококомовного повідомлення, комутатор повинен оновлювати свою таблицю MAC-адрес;

- дублюючі дані. Коли комутатор отримує ширококомовну передачу, але не знає MAC-адреси одержувача, він надсилає ширококомовну передачу через кожен порт. Це може створити ситуацію, коли пристрій буде отримувати дублікати кожної трансляції, що відправляється, витрачаючи цінну смугу пропускання на надлишкові дані. Це також може призвести до непереборних помилок у даних;

- широкомовні шторми. Можливо, найважливішою причиною уникати циклів у топографії мережі є запобігання «широкомовним штормам». Широкомовний шторм створюється, коли кожен комутатор в мережі відправляє по мережі кілька копій даних, що дублюються (або «широкомовних пакетів»). Коли комутатори з'єднані в циклі, дані можуть надходити на комутатор кількома шляхами. Оскільки таблиця MAC-адрес нестабільна в циклічному режимі, комутатор не має можливості зрозуміти, куди необхідно надіслати дані, тому транслює інформацію з кожного порту. Ці дані приймаються всіма комутаторами мережі і повторно передаються, оскільки одержувач як і раніше невідомий. Це може призвести до перевантаження комутаторів та серйозного зниження продуктивності мережі. Широкомовний шторм продовжуватиметься доти, доки один із комутаторів не вийде з ладу або не буде відключений від системи [13].

На наступному рисунку 3.1 показано три комутатори, які знаходяться у циклі в мережі. Коли один комутатор відправляє повідомлення, два інших комутатора мережі отримують повідомлення і пересилають його іншим комутаторам в мережі через інші порти. Наприклад, коли комутатор В відправляє повідомлення комутаторам А і С, ці комутатори одержують повідомлення і ретранслюють його іншим комутаторам. Коли комутатори А і С також ініціюють широкомовні передачі, мережа може бути перевантажена широкомовними повідомленнями, що повторюються, що збільшує пропускну здатність і уповільнює роботу всієї мережі [13].

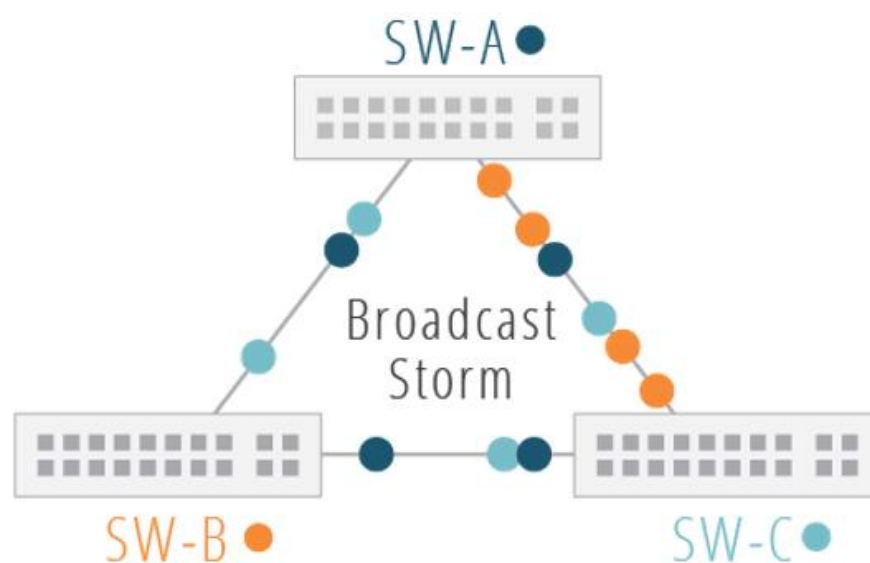


Рисунок 3.1 – Схематичний приклад широкомовного шторму

RSTP – це набір правил, за допомогою яких комутатори в мережі визначають кращий спосіб маршрутизації даних в мережі без збитковості. Коли він включений в мережу, алгоритм автоматично визначає конфігурацію зв'язуючого дерева. Корневий міст у RSTP/ STP є мостом у верхній частині такого дерева та відповідає за виправлення інформації про топологію мережі іншим комутаторам у мережі. Це важливо в разі апаратних збоїв або інших змін топології, щоб ефективні альтернативні шляхи були встановлені з мінімальною затримкою [13].

Поряд зі своїм попередником STP, був розроблений з метою запобігання шкідливим циклам усередині мережі. RSTP запобігає мережевим циклам, блокуючи надлишкові порти. Заблокований порт, як і раніше, прийматиме дані, але не надсилатиме їх іншим пристроям у мережі. Це гарантує, що комутатори отримують лише одну копію пакета. У разі збою будь-якого з активних шляхів використовуватиметься один із заблокованих портів. Вибраний порт залежить від топології конфігурації. RSTP є покращенням порівняно з STP (протоколом сполучного дерева) головним чином через скорочення часу конвергенції, тобто часу, необхідного всім комутаторам в мережі для досягнення стану конвергенції, або згоди, з топології мережі. У STP при зміні топології або збої в мережі потрібен значний час конвергенції, який зазвичай триває 40-50 секунд. У сучасному мережному середовищі з високим попитом існує постійна потреба у підвищенні швидкості та надійності, і затримка у 40-50 секунд, як правило, неприйнятна. RSTP значно скорочує час конвергенції приблизно 5-10 секунд. На щастя, багато сучасних комутаторів, представлених на ринку, автоматично включають RSTP за замовчуванням. Крім того, для мережних середовищ із поєднанням старого та нового обладнання важливо відзначити, що RSTP назад сумісний зі старим стандартом STP [13].

Ролі портів RSTP[13]:

- кореневий порт, який приймає блоки даних протоколу мосту (BPDU) на кореневому мосту. Це повідомлення, якими обмінюються комутатори у мережі;
- призначений порт, вибраний у кожному сегменті локальної мережі (LAN), який забезпечує найменшу вартість кореневого шляху. Чим вища швидкість з'єднання, тим нижча вартість;
- альтернативний порт – це порт, який не повинен використовуватися як призначений, він стає альтернативним портом. Це резервна копія кореневого порту у разі збою і блокується під час нормальної роботи кореневого порту;

- порт резервного копіювання - це резервна копія призначеного порту. У разі збою кореневого порту резервний порт стає новим портом. Резервний порт зазвичай блокується, коли призначений порт працює правильно.

Алгоритм RSTP виконує такі спільні кроки [13]:

- алгоритм визначає кореневий міст. Кореневим мостом буде комутатор із найменшим пріоритетом моста. За наявності зв'язку вибирається комутатор із найменшою MAC-адресою;

- всі інтерфейси кореневого мосту переведені в стан пересилання. У стані пересилання порт відправлятиме і отримуватиме дані і дізнаватиметься MAC-адреси в мережі;

- всі інші комутатори в мережі (некореневі) вибирають кореневий порт. Кореневий порт – це найкращий шлях до кореневого мосту, що базується на його вартості порту. Чим нижча швидкість порту, тим вища вартість. Тому як кореневий порт вибирається найшвидший порт через його низьку вартість. На кожен некореневий комутатор припадає лише один кореневий порт;

- вибираються призначені порти, яким дозволено пересилати трафік, і вони вибираються з урахуванням вартості порту. Усі порти кореневого мосту є призначеними портами;

- всі інші порти знаходяться у відключеному (блокуючому) стані. Ці порти не передають дані іншим комутаторам у мережі та не оновлюють таблиці MAC-адрес.

RSTP в AXM-WEB2. AXM-WEB2 – це комунікаційний модуль Ethernet, який підтримує протокол RSTP. Це дозволяє користувачам об'єднувати кілька модулів WEB2 у послідовний ланцюжок. Через Ethernet може бути підключено трохи більше 32 модулів. RSTP можна увімкнути у веб-інтерфейсі модуля на вкладці Мережа на сторінці Налаштувань зв'язку. Коли в модулі увімкнено протокол RSTP, між портами Ethernet 1 і 2 створюється міст Ethernet. Коли цей міст створюється, він дозволяє портам Ethernet 1 і 2 відправляти та отримувати дані. Підключення кожного модуля до послідовної мережі Ethernet дозволяє кожному з модулів діяти як мережний комутатор. Кожен модуль у послідовній мережі повинен мати свою власну унікальну IP-адресу. На рисунку 3.2 показана мережа із послідовним підключенням до Ethernet [13].

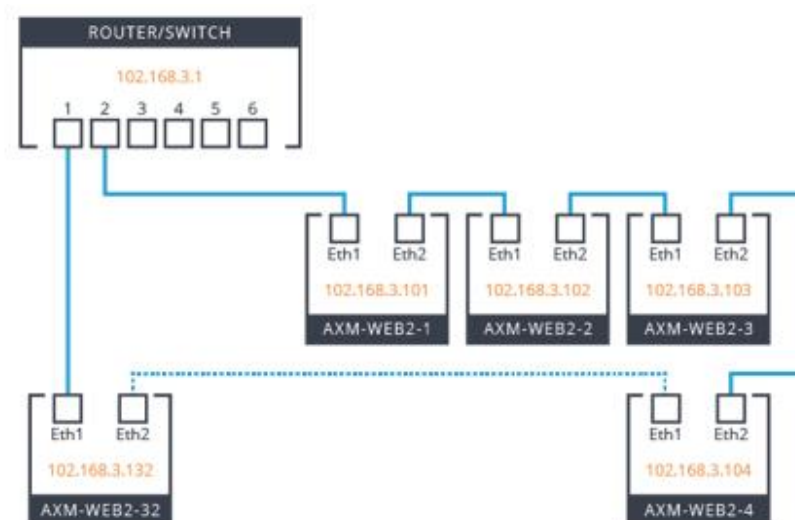


Рисунок 3.2 – Приклад роботи RSTP з AXM-WEB2

Для простого прикладу того, як RSTP працює з AXM-WEB2, використовуються два модулі. На наведеному нижче рисунку 3.3 зразковій мережній схемі показана мережа Ethernet, що складається з одного маршрутизатора і двох модулів AXM-WEB2 [13].

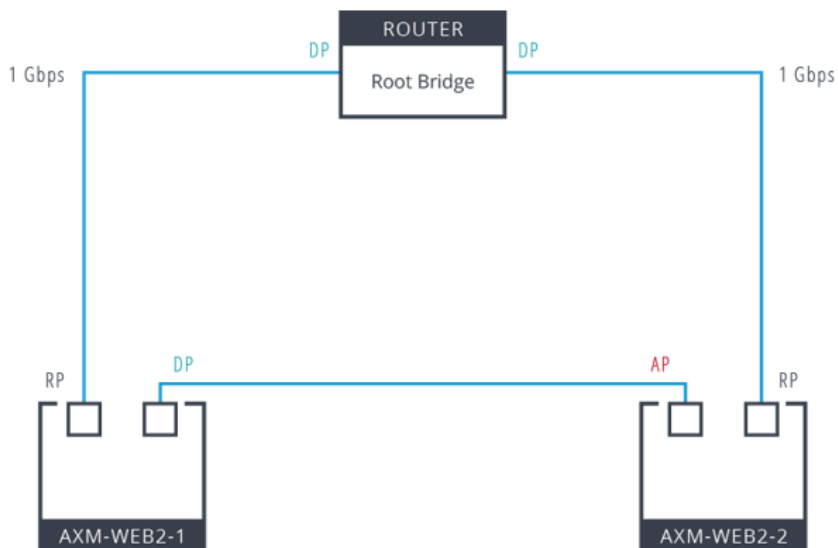


Рисунок 3.3 – Зразкова мережна схема Ethernet

Припустимо, що маршрутизатор має найнижчу MAC-адресу в мережі, тоді вона стане кореневим мостом. Після цього порти на маршрутизаторі стануть призначеними портами (Display Port, DP). Кореневий порт (Root Port, RP)

вважається найкращим шляхом до кореневого мосту (маршрутизатору). Судячи з діаграми, найкращими шляхами є «АХМ-WEB2-1» та «АХМ-WEB2-2». Обидва підключення модуля мають однакову швидкість з'єднання 1 Гбіт/с, і вони матимуть однакову вартість кореневого шляху. Далі, для «АХМ-WEB2-1» та «АХМ-WEB2-2» нам потрібно буде знати, яка з них має нижню MAC-адресу, щоб визначити, які ролі портів призначені. У цьому прикладі «АХМ-WEB2-1» матиме нижню MAC-адресу; його порти стануть призначеними портами. У цьому випадку порти «АХМ-WEB2-2» стануть альтернативним портом (Alternative Port, AP), оскільки він має більш високу MAC-адресу [13].

Увімкнення протоколу RSTP призводить до підвищення швидкості та надійності мережі без оновлення обладнання або зміни мережної архітектури. Це простий та економічний спосіб максимізувати ефективність існуючих мереж [13].

Наступним протоколом є (Link Aggregation Group, LAG) – це реальний метод чи приклад для агрегації каналів. Група агрегації каналів формується, коли підключається кілька портів паралельно між двома комутаторами та налаштовується вони як LAG. Він створює кілька каналів між двома комутаторами, що збільшує пропускну здатність. Крім того, він забезпечує резервування на рівні каналу при відмові мережі та балансуванні навантаження трафіку. Навіть якщо один зв'язок вийде з ладу, решта все одно працюватиме. Вони також приймають на себе той трафік, який повинен проходити через той, що вийшов з ладу, тому пакет даних не буде втрачено [14].

LACP – це протокол для автоматичного налаштування та підтримки LAG. У режимі LACP порт-канал створюється на основі LACP. Цей протокол надає стандартний механізм узгодження для комутаційного пристрою, так що комутаційний пристрій може автоматично формувати та запускати агрегований канал відповідно до його конфігурації. Після того, як агрегований канал сформовано, LACP відповідає за підтримку статусу каналу. Він слугує підкомпонентом стандарту IEEE 802.3ad (Link Aggregation). Стандарт передбачає, що LACP може бути методом об'єднання декількох фізичних каналів між мережевими пристроями в один логічний канал. В результаті канали, що підтримують протокол LACP, можуть збільшити логічну смугу пропускання та надійність мережі без зміни будь-якої мережної інфраструктури. Більше того, навіть якщо одне послання виходить з ладу, в режимі LACP інші доступні члени послання в тій же групі LACP балансуватимуть навантаження. На рисунку 3.4 зображений приклад роботи LACP [14].

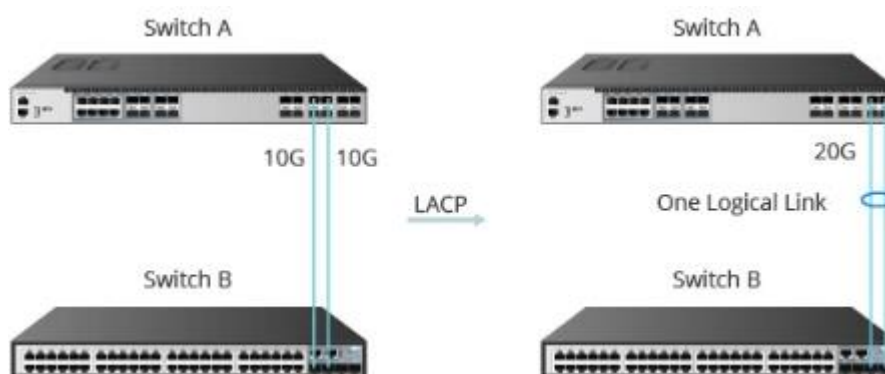


Рисунок 3.4 – Приклад роботи LACP

У момент, коли LACP увімкнено між двома комутаторами, вони будуть відправляти LACPDU (блоки даних LACP) один одному. Після отримання один від одного LACPDU два комутатори будуть визначати, у якої сторони системний пріоритет вищий. Потім вони будуть вести переговори один з одним, щоб вибрати того, хто вищий, щоб бути Актором, а той, хто нижчим, – партнером. Якщо два комутатори мають однаковий системний пріоритет, комутатор із меншим значенням MAC-адреси буде Актором. На рисунку 3.5 зображено другий крок роботи LACP [14].

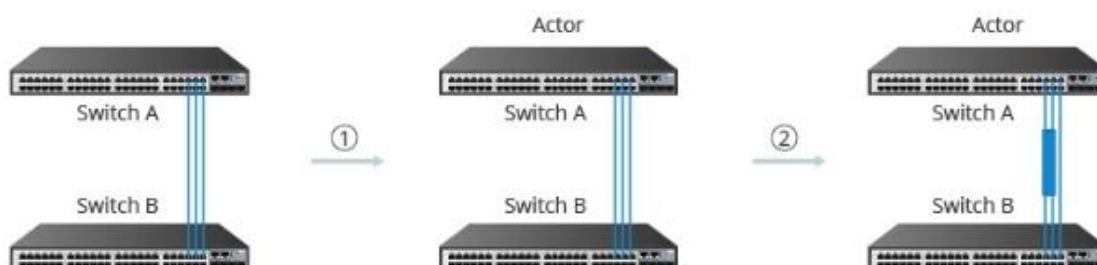


Рисунок 3.5 – Другий крок роботи LACP

Після вибору Суб'єкта два комутатори вибиратимуть активні порти на основі пріоритетів портів порту Суб'єкта. Однак, якщо порти Суб'єкта мають однакові пріоритети, порти з меншими номерами портів будуть вибрані як активні порти. Після вибору відповідних портів двох комутаторів встановлюється порт-канал (група LACP). Тоді активні послання завантажать дані балансу зв'язку [14].

Висновок: агрегація каналів – це спосіб поєднання декількох окремих (Ethernet) каналів, щоб вони могли працювати як єдине логічне з'єднання. Група

портів, що об'єднані разом, називається групою агрегації каналів або LAG. Протокол активного моніторингу, який дозволяє пристроям включати чи видаляти окремі посилення з LAG, називається протоколом керування агрегацією каналів (LACP) [14].

3.2 Протокол SNMP

Простий протокол керування мережею (Simple Network Management Protocol, SNMP) є стандартним протоколом для керування пристроями в IP-мережах на основі архітектур TCP/UDP, який дозволяє відстежувати керовані мережі, включаючи маршрутизатори, мережні комутатори, сервери, принтери та інші пристрої, які включені через IP через єдину систему керування забезпечення [15].

Архітектура SNMP складається з 3-х компонентів [15]:

- першим компонентом слугує мережна станція управління (Network Management Station, NMS) це консольна система, NMS віддалено контролює керовані пристрої, отримує дані, зібрані майстер-агентами, відстежує продуктивність і подає отриману інформацію у графічному вигляді. Вбудований менеджер NMS відповідає за зв'язок із агентами;

- Майстер-агент – це програма, що зв'язує мережевих менеджерів та субагентів. Майстер-агент аналізує запити мережевого менеджера NMS, що надходять, і пересилає їх субагентам, отримують інформацію, створюють відповідь і відправляє його менеджеру. Майстер-агент повідомляє менеджера, якщо запит некоректний, неправильно сформульований або запитана інформація недоступна.

- Субагент – це програма, що поставляється вендором разом з мережним пристроєм, використовуються в конкретній базі інформації, що управляє (Management Information Base, MIB). Субагент збирає інформацію про майстер-агент, налаштовує параметри майстер-агента, відповідає на запити менеджера. Кожен керований компонент має відповідний субагент;

- Керований компонент є підключеними до мережі комп'ютерами або програмним забезпеченням із вбудованим субагентом. До таких пристроїв належать не тільки маршрутизатори, комутатори та сервери, а й IP-відеокамери та IP-телефони. До програмного забезпечення з субагентами також належать антивірусні програми, системи резервного копіювання, програмне забезпечення для систем джерел безперебійного живлення.

Крім того, SNMP включає MIB і ідентифікатор об'єкта (Object identifier, OID). MIB – це база даних управління інформацією про пристрої, де зберігаються інформація про стан керованого пристрою, доступна для систем управління. Кожен тип пристрою має свою MIB-таблицю, і завдяки MIB менеджер знає, яку інформацію він може запросити у агента пристрою. MIB надає власний унікальний ID, що дозволяє вам ідентифікувати пристрій. OID є цифровим еквівалентом шляху до файлу, частина OID містить дані про виробника обладнання, що дозволяє швидко отримати деяку інформацію про пристрій [15].

SNMP дозволяє адміністратору управляти різними програмами та хмарними сервісами. Протокол має функціонал для виконання наступних операцій [15]:

- переналаштовувати ір-адреси;
- надсилати запити для контролю пристроїв;
- віддалено скидати паролі;
- відстежувати навантаження на сервері гри і отримувати повідомлення про перевищення допустимого порога;
- збирати інформацію про поточні помилки;
- отримувати повідомлення про несправності;
- отримувати повідомлення про несправності;
- додати відомості через сторонні OID та багато іншого.

Операції які відтворює протокол SNMP [15]:

- Get – це запит, надісланий NMS на керований пристрій. І це виконується для отримання одного або кількох значень MIB;

- GetNext – це схоже на GET. Але зазвичай він набуває значення наступного OID у дереві MIB;

- GetBulk – використовується для отримання маси даних із великої таблиці MIB;

- Set – виконується NMS для зміни значення керованого пристрою;

- Response – виконується NMS для зміни значення керованого пристрою. Він виконується агентом у відповідь на операції GetRequest, GetNextRequest, GetBulkRequest та SetRequest;

- Trap – ця операція ініціюється агентом. Він використовується для повідомлення NMS про помилку або подію, що відбувається на керованому пристрої;

- Inform – ця операція ініціюється агентом. Це схоже на TRAP, але після того, як агент надішле запит на інформування, NMS має відправити пакет InformResponse, як відповідь агенту. На рисунку 3.6 зображена схема роботи протоколу SNMP.

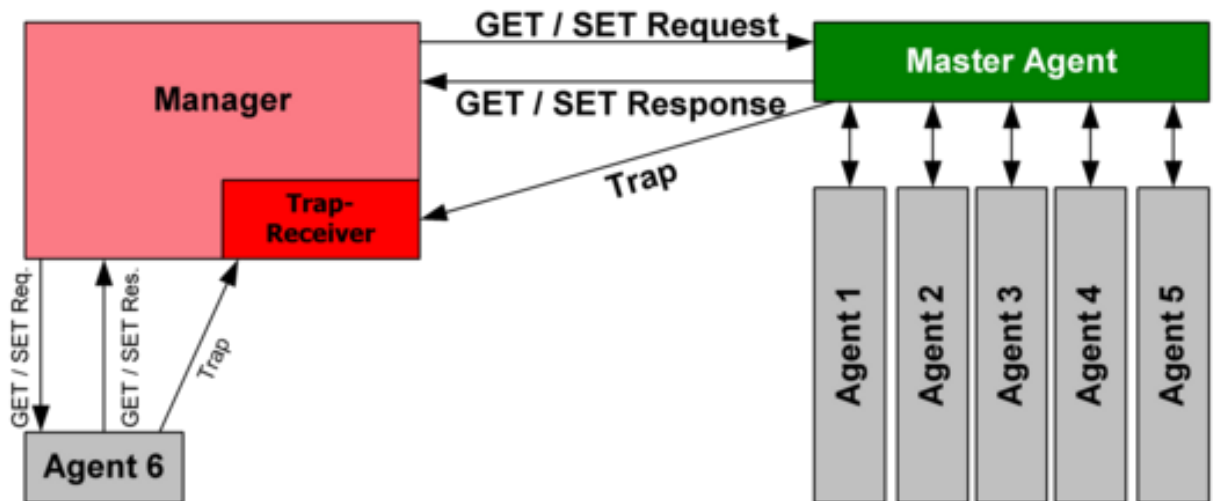


Рисунок 3.6 – Схема роботи протоколу SNMP

Коли NMS надсилає агенту пакет запиту Get/GetNext/GetBulk/Set, агент спочатку аутентифікує версію SNMP та ім'я спільноти. Потім, коли аутентифікація успішна, агент відправляє відповідне значення NMS як пакет відповіді. Якщо агент не може отримати відповідне значення, він повертає повідомлення про помилку NMS. Треба звернути увагу, що операція GetBulk еквівалентна послідовним операціям GetNext. Менеджер може встановити кількість операцій GetNext, включених до операції GetBulk, без повторного виконання операції GetNext. Trap та Inform – це спонтанні дії керованого пристрою. Коли виникає умова спрацювання переривання, керований пристрій відправляє переривання до NMS для повідомлення. Inform схожий на Trap, але для Inform потрібно підтвердження NMS, а для Trap – ні. Якщо керований пристрій не отримує підтвердження, він зберігає Inform у буфері або повторює операцію Inform, доки NMS не поверне підтвердження. Як тільки кількість повторних надсилань досягне максимальної межі, керований пристрій запише журнал для запиту на інформування [15].

Існує декілька версій SNMP. В наведеній нижче таблиці 3.1 показано порівняння версій SNMP.

SNMP – один із широко поширених мережевих протоколів для управління та моніторингу мережевих елементів. Щоб протокол працював, необхідно враховувати його компоненти та принципи роботи. Більшість мережних елементів професійного рівня поставляються із вбудованим агентом SNMP.

Таблиця 3.1 – Порівняння версій SNMP

| Параметри\версія | SNMPv1 | SNMPv2c | SNMPv3 |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Контроль доступу | Засновано на назвах спільнот та МІВ | Засновано на назвах спільнот та МІВ | Контроль доступу на основі користувача, групи користувачів та подання МІВ |
| Аутентифікація та конфіденційність | Засновано на назвах спільнот | Засновано на назвах спільнот | Режим автентифікації: MD5/SHA Режим шифрування: DES56/AES128/AES192/AES256/3DES |
| Trap | Підтримує | Підтримує | Підтримує |
| Inform | Не підтримує | Підтримує | Підтримує |
| GetBulk | Не підтримує | Підтримує | Підтримує |
| Додаток | Підходить для невеликих мереж із низькими вимогами до безпеки | Підходить для малих та середніх підприємств та великих мереж з низькими вимогами до безпеки | Підходить для великих та надгігантських підприємств із суворими вимогами безпеки |

3.3 Протокол Snooping IGMP

Традиційний режим одноадресної передачі по мережі не відповідає сучасним вимогам до передачі даних, оскільки він збільшує навантаження на мережу та значно знижує пропускну здатність мережі. Щоб вирішити цю проблему, розроблено протокол управління мережею мультимовлення (Internet Group Management Protocol, IGMP), який тепер налаштовується в режимі багатоадресної передачі по мережі [16].

IGMP протокол управління мережею мультимовлення, який організує кілька пристроїв групи. Він заснований на протоколі IP та застосовується в інтернеті повсюдно, ефективно використовуючи ресурси мережі. IGMP snooping – процес відстеження multicast-трафіку між групою споживачів та хостом. Увімкнена функція snooping починає аналізувати запити користувача на з'єднання з мультимовною групою і додає порт до списку IGMP-мовлення. Після завершення використання мультитрафіку користувач залишає запит і протокол, видаляє порт зі списку групової передачі даних. Таким чином snooping виключає передачу користувачеві непотрібних даних через канали multicast [16].

У локальній мережі багатоадресні пакети повинні проходити через комутатори 2 рівня між маршрутизатором і користувачами багатоадресної розсилки. Однак багатоадресні пакети можуть транслюватися всім хостам в широкомовному домені, включаючи членів групи, що не входять, без багатоадресної розсилки, так як комутатор рівня 2 не може дізнатися багатоадресні MAC-адреси. Це призводить до втрати пропускної спроможності мережі та загрожує інформаційній безпеці мережі [16].

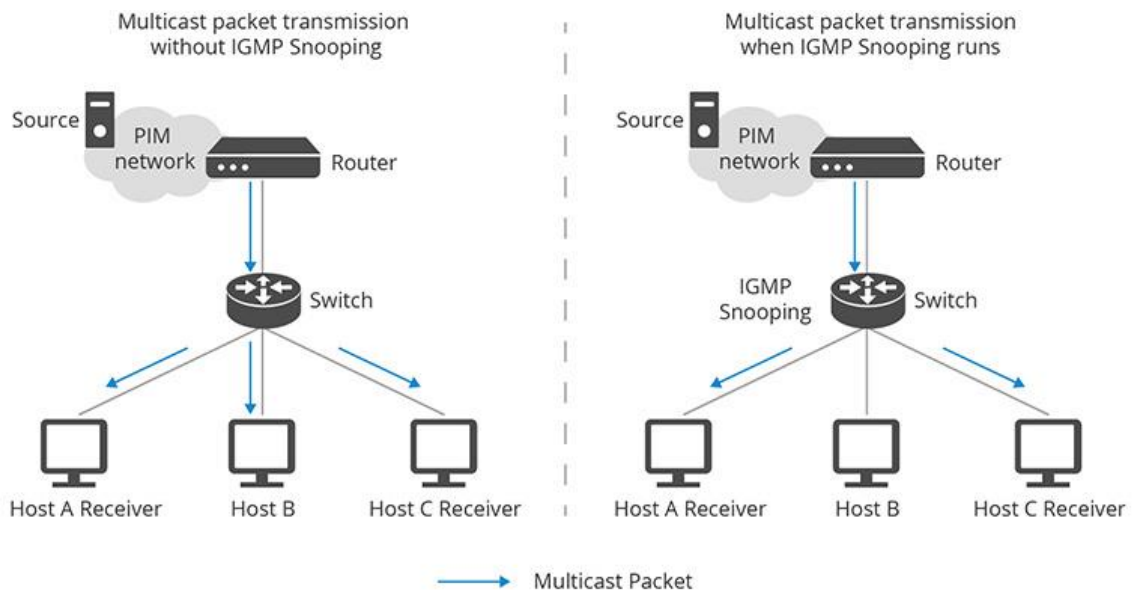


Рисунок 3.7 – Робота протоколу IGMP Snooping

IGMP Snooping вирішує цю проблему. Як показано на рисунку 3.7 вище, коли прослуховування не виконується на комутаторі, багатоадресні пакети передаються на Хост А, В, С. Але коли прослуховування увімкнене, комутатор Snooping IGMP може прослуховувати та аналізувати повідомлення IGMP та встановлювати Записи багатоадресної пересилки рівня 2 для керування пересиланням багатоадресних даних. Таким чином, пакети багатоадресної розсилки є лише членами груп багатоадресної розсилки для одержувачів А і С, а не широкомовними всіма вузлами [16].

Існують два види IGMP snooping [16]:

- пасивний IGMP snooping просто прослуховує IGMP трафік, не фільтруючи його, не інтерферуючи з IGMP жодним чином:
- активне відстеження, не лише пасивно прослуховує трафік, а й фільтрує його з метою ефективного використання мультимовлення в мережі. Активний IGMP

snooping мінімізує обмін інформацією, відсіваючи запити до роутера на підключення та відключення. Ідеальний стан комутатора – наявність одного споживача кожною мультикастовою групою мовлення, чого прагне алгоритм протоколу.

Snooping з активним алгоритмом прискорює передачу даних та покращує якість мережі, але при цьому створює додаткове навантаження на комутатор. Фільтрування вимагає від пристрою певних витрат ресурсів пам'яті та CPU, тоді як просте відстеження або ретрансляція – менш вимоглива процедура. При цьому активне відстеження передає маршрутизатору дані тільки про останнього учасника групи, щоб пристрій не визначив це, як відсутність споживачів у каналі, і не виключив порт зі списку [16].

Основні функції IGMP Snooping дозволяють пристрою створювати та підтримувати таблицю багатоадресної пересилки рівня 2 та здійснювати багатоадресну передачу даних на вимогу на канальному рівні. Перед налаштуванням функцій IGMP Snooping слід розглянути наступні елементи.

Конфігурації IGMP Snooping [16]:

- IGMP Snooping Querier. Для включення прослуховування багатоадресний маршрутизатор повинен бути розгорнутий в топології мережі для генерації запитів. Без запиту звіти про членство в IGMP та таблиці членства в групах не можуть регулярно отримувати та оновлюватися, що призводить до нестабільної роботи IGMP Snooping. Коли IGMP Snooping Querier налаштований, він надсилає запити через певний проміжок часу, щоб генерувати повідомлення звітів IGMP від мережевого комутатора з багатоадресним членством. І IGMP Snooping прослуховує ці звіти IGMP для встановлення відповідної переадресації;

- IGMP Snooping proxy – розширена функція. При включенні комутатора IGMP Snooping починає працювати так само, як і IGMP Snooping, а потім коли комутатор отримує запит IGMP від маршрутизатора, він негайно відповідає відповідно до свого стану. Якщо цей параметр вимкнено, запити IGMP у VLAN та звіти з вузлів затоплюються. Таким чином, проксі-сервер IGMP Snooping запобігає раптовому сплеску трафіку звітів IGMP у відповідь на запити та зменшує кількість запитів IGMP, необхідних для обробки. Однак затримка вводить під час поширення стану IGMP через VLAN.

IGMP має три версії протоколу: V1, V2 та V3. Відповідно, ви можете вибрати версію IGMP Snooping на пристрої 2 рівня для обробки повідомлень IGMP в різних версіях. Зазвичай IGMPv1 ідентифікує маршрутизатор, що запитується на основі протоколу багатоадресної маршрутизації. IGMPv2 додає

можливість групових запитів, дозволяючи запитувачу надсилати повідомлення хостам у багатоадресній групі. IGMPv3 приносить більше покращень для підтримки фільтрації певних джерел [16].

Висновок: IGMP Snooping є важливою особливістю мережевих комутаторів. Коли він увімкнений, споживання смуги пропускання буде зменшено в середовищі локальної мережі з множинним доступом, щоб уникнути переповнення всієї VLAN, і водночас можна підвищити безпеку інформації про мережу. Таким чином, з'ясування конфігурацій та функцій IGMP Snooping допоможе побудувати оптимізовану мережу.

3.4 Функція DDM

Функція цифрового моніторингу (Digital Diagnostics Monitoring, DDM) у SFP/SFP+ модулях – це зручний засіб віддаленої діагностики та усунення несправностей в оптоволоконних мережах. SFP модулі із DDM зовні нічим не відрізняються від модулів без цієї функції. Різниця лише в тому, що SFP або SFP+ трансивери з підтримкою DDM функції виробники оснащують кількома датчиками, а також системою обробки та запису їх показань на одну зі сторінок пам'яті. Подивитися показання датчиків можна, встановивши модуль SFP/SFP+ в комутатор (рис. 3.8).

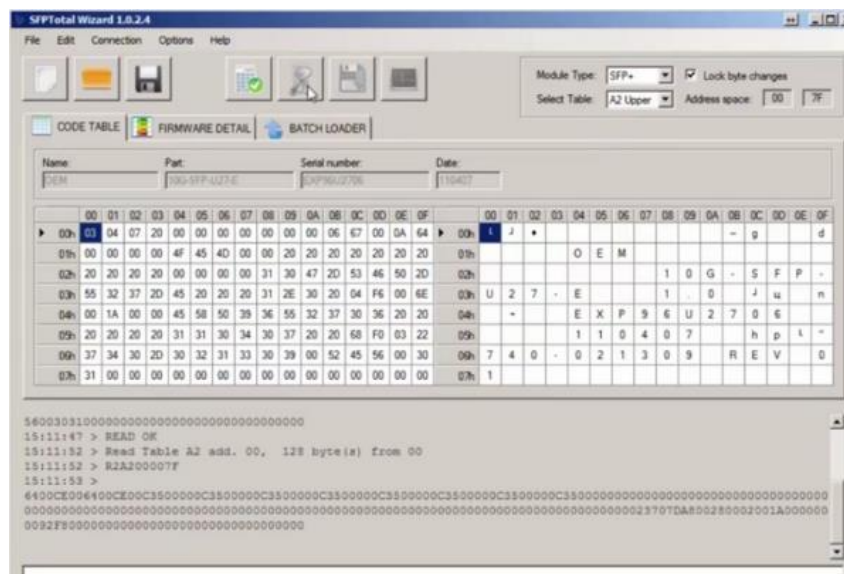


Рисунок 3.8 – Моніторинг обсягу зарезервованої під потреби DDM пам'яті SFP трансивера

Для нормальної роботи функція DDM повинна підтримуватися, як комутатором, так і трансивером. При цьому комутатор прямого доступу до трансивера немає, зв'язок здійснюється тільки через EEPROM (внутрішню пам'ять оптичного модуля). Так можна віддалено зайти в панель керування вашого комутатора та відстежити важливі параметри роботи встановленого SFP, SFP+ модуля з підтримкою DDM функції [17].

Функція DDM включає до моніторингу п'ять параметрів [17]:

- потужність оптичного випромінювання на приймачі показує, наскільки сильний сигнал. Дуже корисний параметр для контролю надходження сигналу та його величини. Вимірюється в dBm або mW;

- потужність передавача в реальному часі показує, чи достатньої потужності сигнал випромінюється передавачем і дозволяє відстежувати відповідність заявленої виробником потужності. Вимірюється в dBm або mW;

- напруга живлення за стандартом має наближатися до значення 3.3 V. Якщо показники вищі або нижчі – мова йде про несправність комутатора або бракований оптичний модуль;

- температура – особливо важливий параметр для трансиверів SFP+ зі швидкістю передачі даних 10 Gbps для далеких дистанцій, оскільки вони піддаються перегріву. Модулі SFP малої дальності зі швидкістю передачі даних 1.25 Gbps або 10 Gbps зазвичай не перегріваються, але контролювати їх температуру не завадить;

- струм усунення у всіх модулів різний, треба дивитися на гранично допустимі значення, вказані виробником.

Таким чином, завдяки функції DDM завжди можна провести первинну діагностику та дізнатися, де саме виникли проблеми.

3.5 Протокол DHCP snooping

Переважає кількість протоколів для мережного обладнання використовується і для домашнього, тому в цьому підрозділі я проаналізую протокол тільки для домашнього обладнання.

DHCP Snooping – це функція безпеки для мереж, підключених до Інтернету. За визначенням DHCP Snooping це механізм безпеки, який

запобігає атакам зловмисників на вашу мережу шляхом перехоплення або зміни повідомлень між мережними клієнтами та DHCP-серверами. Він забезпечує додатковий рівень захисту від шкідливої активності у вашій мережі та допомагає захиститися від потенційних загроз безпеці. Коли DHCP snooping включений на мережному комутаторі, комутатор перевіряє DHCP-повідомлення він отримує, щоб дізнатися, які IP-адреси були призначені яким хостам у кожній з його підключених мереж. Потім комутатор створює таблицю прив'язок відстеження DHCP, яку використовує для перевірки наступних повідомлень DHCP. Якщо комутатор отримує DHCP-повідомлення від хоста, якого немає в таблиці прив'язок, повідомлення відкидається, і хосту не надається доступ до мережі. Це запобігає підробці повідомлень DHCP зловмисниками та отримання несанкціонованого доступу до мережі. Відстеження DHCP можна використовувати як у мережах IPv4, так і в мережах IPv6. Якщо увімкнено відстеження DHCP, комутатор також повинен бути налаштований за допомогою IP-адреси DHCP-сервера, щоб він міг додавати записи до таблиці прив'язок [18].

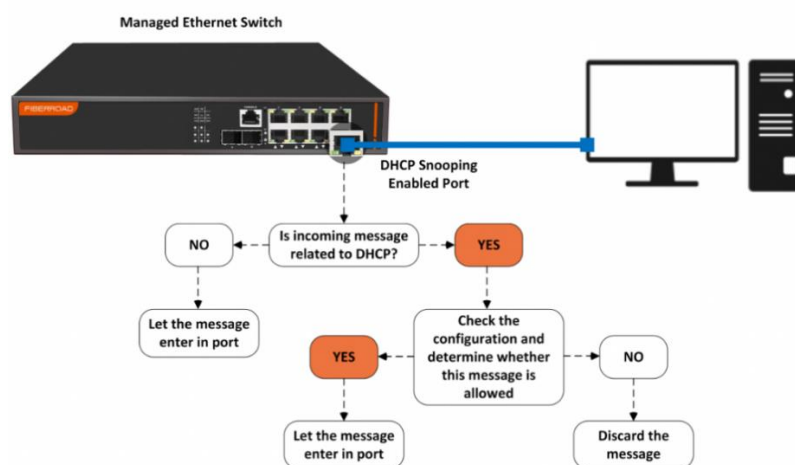


Рисунок 3.9 – Процес відстеження DHCP

DHCP snooping може захистити від різних атак, зокрема [18]:

- IP Spoofing ця атака відбувається, коли хтось намагається відправити IP-пакети з фальшивою вихідною адресою. Це можна використовувати для запуску атак типу «відмова в обслуговуванні» або для отримання доступу до ресурсів, які для них не призначені. Відстеження DHCP може виявляти та запобігати таким атакам;

- Атаки «людина посередині» у цьому типі атаки хтось намагається перехопити та змінити зв'язок між двома комп'ютерами. Це може бути використане для крадіжки конфіденційної інформації або впровадження шкідливого коду у зв'язок. Відстеження DHCP може виявляти та запобігати таким атакам;

- Атаки типу «відмова в обслуговуванні» – ці атаки відбуваються, коли хтось намагається зробити службу недоступною, завалюючи її запитами або викликаючи збій через неправильно сформовані запити. Відстеження DHCP може виявляти та запобігати таким атакам.

Насамкінець, DHCP Snooping – це потужна функція безпеки, яка може допомогти захистити вашу мережу від шкідливих атак. Це дозволяє контролювати, які пристрої дозволені в мережі та до якого типу трафіку вони можуть отримати доступ. Це допомагає забезпечити безпеку та надійність вашої мережі, запобігаючи несанкціонованому доступу та знижуючи ймовірність витоку даних або інших уразливостей. Зважаючи на ці переваги, стає ясно, що налаштування DHCP Snooping має бути важливою частиною стратегії безпеки будь-якого мережевого адміністратора.

4 ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ PON

4.1 Розрахунок загасання мережі

Для проведення практичного дослідження візьмемо окремий сегмент мережі, наведений на рисунку 2.9. Цей сегмент охоплює вулиці Літвінова та Жовтнева смт. Кочеток. Схема сегменту мережі показана на рисунку 4.1.

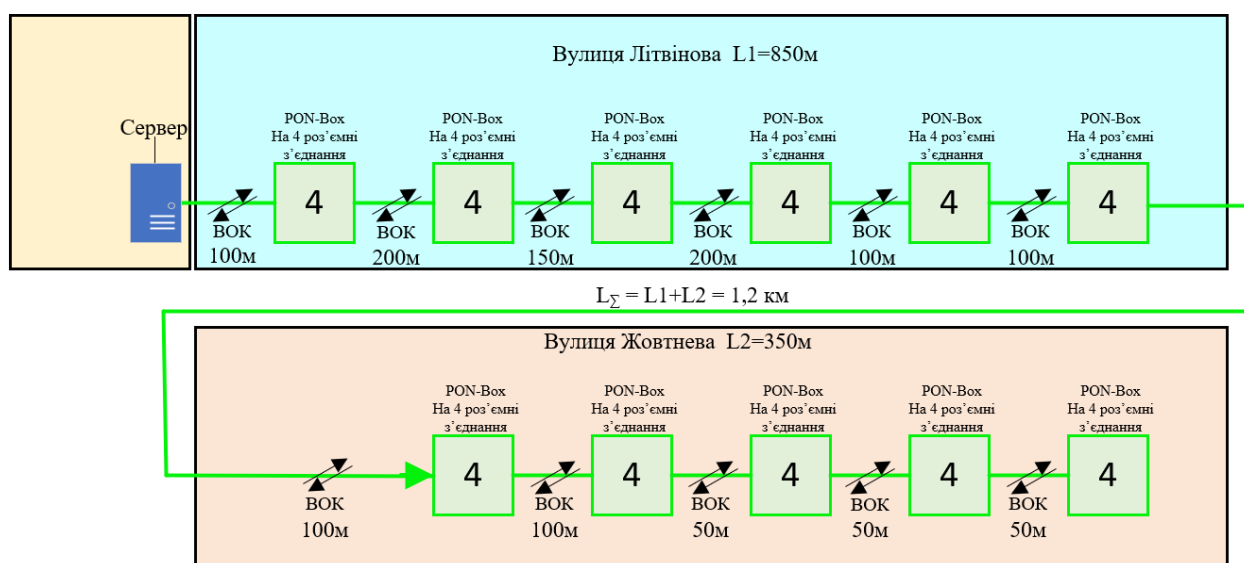


Рисунок 4.1 – Схема сегменту мережі вул. Літвінова та вул. Жовтнева

Можна бачити, що до серверу підключено одинадцять PON боксів (PON Box) з 4-ма розгалужувачами, які з'єднані волоконно-оптичним кабелем характеристики, якого були висвітленні у попередньому розділі. Довжина сегменту на вул. Літвінова складає $L_1 = 850\text{ м.}$, довжина ділянки мережі на вул. Жовтнева складає $L_2 = 350\text{ м.}$ Разом весь сегмент складає $L_\Sigma = L_1 + L_2 = 1,2\text{ км.}$ Розташування PON боксів організовується методом закріплення їх на стовпах. Дуже важливим елементом такої мережі є розподільний вузол, у якому відбувається розподіл оптичної магістралі на окремі гілки або абонентські відводи. Фізично – це конструктив (бокс або муфта), який розміщується на опорі у місцях зосередження абонентів. У середині повинна бути передбачена можливість встановлення оптичного розгалужувача, кріплення для термоусаджувальних гільз, а також панель адаптерів (з'єднувачів) для

підключення абонентських кабелів. Можливість встановлення розгалужувачів особливо важлива, оскільки при розгортанні PON у вузлах відбувається розподіл лінії між кінцевими абонентами. Установка адаптерів пов'язана з тим, що підключення абонентів після останнього дільника PON краще робити на роз'ємах, ніж на зварюванні. По-перше, це прискорює і спрощує можливість підключення нових абонентів. По-друге, легше проводити вимірювання та пошук несправностей – у бік абонента та у бік станції.

Розрахунки загасання виконуються для оптичної лінії – від підключення волокна на активному обладнанні (на передавачі) до самого віддаленого абонента. У пасивної мережі PON джерелами втрат є:

- повне затухання в оптичному волокні, залежить від коефіцієнта загасання волокна на певній довжині хвилі і довжини волокна;
- повні втрати в зростках (зварні з'єднання), залежать від втрат в кожному зростку і їх загальної кількості;
- повні втрати в з'єднувачах (роз'ємні з'єднання), залежать від втрат в кожному з'єднувачі та їх загальної кількості;
- втрати в розгалужувачах, залежать від коефіцієнта розгалуження;
- експлуатаційні втрати: втрати на додаткових зростках і кабельних вставках при проведенні ремонтних робіт [19].

Розрахунки треба проводити для кожної точки присутності по оптичній лінії з урахуванням магістральної та розподільної ділянки мережі, абонентської проводки, з усіма пасивними пристроями в ланцюзі з'єднання [19].

З урахуванням топології мережі, що використовується в проекті, немає необхідності розраховувати відсоток розподілу потужності в оптичних розгалужувачах, мережа вийде збалансованою, що забезпечить безпомилковий прийом потоків даних оптичним приймачем обладнання OLT.

Для визначення сумарного загасання всіх елементів ланцюга треба скористатися формулою, представленої нижче [19]:

$$A_{\Sigma} = \alpha \cdot L_{\Sigma} + A_w \cdot N_w + A_c \cdot N_c + A_s + X, \text{ дБ} \quad (5.1)$$

де: A_{Σ} – сумарне загасання сигналу;

- α – загасання сигналу (за Рек. G.652D) на 1 км оптоволокна на довжині хвилі 1490 нм, $\alpha = 0,24$ дБ/км;

- L_l – довжина ділянки мережі на вул. Літвінова складає, $L_l = 850$ м;

- L_2 – довжина ділянки мережі на вул. Жовтнева складає $L_2 = 350$ м;
- L_Σ – сумарна довжина сегменту від OLT до кінцевого вузла, $L_\Sigma = 1,2$ км;
- A_w – загасання сигналу на зварному з'єднанні, $A_w = 0,05$ дБ;
- N_w – кількість зварних з'єднань на шляху проходження сигналу від OLT до кінцевого вузла $N_w = 21$ шт;
- A_c – загасання сигналу на роз'ємному з'єднанні $A_c = 0,3$ дБ;
- N_c – кількість роз'ємних з'єднань на шляху проходження сигналу від OLT-а до кінцевого вузла $N_c = 45$ шт ;
- A_s – сумарне загасання сигналу на каскаді сплітерів $A_s = 7,4$ дБ;
- X – експлуатаційний запас $X = 3$ дБ.

Звідси:

$$A_\Sigma = 0,24 \cdot 1,2 + 0,05 \cdot 21 + 0,3 \cdot 45 + 7,4 + 3 = 25,24 \text{ дБ} \quad (5.2)$$

Із проведеного розрахунку видно, розраховані втрати на лінії не перевищують бюджету втрат ($25,24 \text{ дБ} < 30 \text{ дБ}$). Отже, ця умова буде дотримуватися і для інших ділянок з меншими загасаннями.

4.2 Розрахунок оптичного бюджету PON

При побудові мережі PON виникає питання, як розрахувати оптичний бюджет потужності та оптичний бюджет втрат. Розрахунок цих показників є основним при побудові дерева PON.

Розрахунок оптичного бюджету повинен підтвердити, що для ділянки мережі загальна величина втрат (разом з експлуатаційним запасом) не перевищує динамічний діапазон всієї системи. Експлуатаційний запас необхідний через можливих пошкоджень на лінійній ділянці, погіршення умов передачі і подальшого розвитку мережі. Визначаємо величину експлуатаційного запасу рівну 3 дБ [19].

Під оптичним бюджетом втрат мається на увазі максимальне загасання сигналу від OLT до ONU. Оптичний бюджет потужності визначається, як різниця між потужністю передавача (SFP OLT трансівера) та чутливістю приймача в ONU. Зокрема, для розрахунків використовувалися технічні характеристики обладнання OLT BDCOM P3608 потужність передавача, якого складає $\sim + 7$ дБм

та FOXGATE ONU E1001MZ GERON чутливість приймача складає $\sim - 28$ дБм. Оптичним бюджет втрат визначається за формулою, яка наведена нижче [19]:

$$\Delta P = T_x - (- R_x), \quad (5.3)$$

де, ΔP – оптичний бюджет лінії;

- T_x – рівень потужності передавача $\sim + 7$ дБм;

- R_x – чутливість приймача $\sim - 28$ дБм.

Отже:

$$7 - (-28) \approx 35 \text{ дБ} \quad (5.4)$$

За результатами розрахунків, оптичний бюджет потужності для мережі PON становить приблизно 35 дБ.

Дослідження та розрахунки, що наведені у цьому розділі зроблені для спрощення виконані для схеми нашої мережі, які взяті по вулицям Літвінова та Жовтневій. Із розрахунку втрат можна бачити, що втрати складають 25.24 дБ. Також був розрахований оптичний бюджет потужності мережі який складає 35 дБ. Отриманий результат говорить про те, що він покриває весь бюджет втрат та позитивно вплине на розширення мережі в майбутньому.

Отже, з урахуванням всіх параметрів прогножуюча мережа в теорії вийде збалансованою, що забезпечить безпомилковий прийом потоків даних оптичним приймачем обладнання OLT, та дозволить розширити мережу для більшої кількості користувачів. Збалансована мережа характеризується рівномірним енергетичним запасом і найбільшою надійністю.

ВИСНОВКИ

Дана кваліфікаційна робота магістра надає рекомендації, щодо організації широкосмугового доступу до інтернету. Використовуючи оптичні технології, а саме технології PON, можлива організація високошвидкісних потоків. У процесі роботи докладно розглянуті основні моменти, що стосуються застосування технології PON для створення абонентської мережі доступу послуги інтернет у смт. Кочеток.

У першому розділі проаналізовані ключові переваги і недоліки технології PON та висвітлені технологічні принципи організації мереж на базі цієї технології. Були проаналізовані особливості організації мережі, проаналізовані три типи топології, а саме топології «зірка», «дерево» та «шина», які найчастіше використовуються при організації мережі доступу. Проаналізовані методи передачі інформації по одному волокну завдяки мультиплексуванню, які застосовуються в пасивних мережах.

У другому розділі кваліфікаційної роботи проведено обґрунтування і вибір необхідного активного мережного обладнання PON. Приведені характеристики кожного вузла мережі. На підставі зробленого обґрунтування активного та пасивного обладнання, була розроблена схема розташування PON боксів для мережі абонентського доступу, для даного населеного пункту, а саме смт. Кочеток, найправильнішою топологією для організації мережі є «зірка». Наданні рекомендації та правила, щодо повітряного прокладання волоконно-оптичного кабелю по опорах та принцип розташування PON боксів (PON Box).

Третій розділ кваліфікаційної роботи характеризується вирішенням проблем використання набору протоколів та їх вибором, які мають використовуватися активним обладнанням PON для магістрального та домашнього обладнання. Одними з таких протоколів є: RSTP, LAG, LACP, SNMP. Це важливі протоколи завдяки яким мережа має бути захищеною та працювати автоматизовано.

Дослідження та розрахунки, що наведені у четвертому розділі, для спрощення виконані для окремого сегменту розробленої мережі. Цей сегмент охоплює вулиці Літвінова та Жовтневу у смт. Кочеток та має загальну довжину 1,2 км. Із розрахунку втрат можна бачити, що втрати складають 25.24 дБ. Також був розрахований оптичний бюджет потужності мережі який складає 35 дБ.

Отриманий результат говорить про те, що бюджет потужності мережі покриває всі втрати даного сегменту та позитивно вплине на розширення мережі в майбутньому. Завдяки дослідженням кваліфікаційної роботи організація мережі, на основі технології PON, забезпечить широкосмуговий доступ для своїх користувачів до різних сучасних інфокомунікаційних послуг на основі мультимедійної інформації, зокрема до послуг інтернет

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ І ПОСІЛАНЬ

1. Passive optical network [Електронний ресурс] / Weissberger A. Gong, Yupeng; Kumar, Rupesh; Wonfor, Adrian; Ren, Shengjun; Pentu, Richard V.; 2021. – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_optical_network.
2. What is a Passive Optical Network (PON)? [Електронний ресурс] / C.Labac, A. Malhotra, A. Scheer, S. Yamany. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.viavisolutions.com/en-uk/what-passive-optical-network-pon>.
3. Froehlich A. passive optical network (PON) [Електронний ресурс] / A. Froehlich, T. Nolle. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/passive-optical-network-PON>.
4. Основные топологии пассивных оптических сетей [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://ic-line.ua/wiki/pon4-1>
5. BDCOM. Оптоволоконний зв'язок та телекомунікації [Електронний ресурс] / BDCOM – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://lanmarket.ua/ua/bdcom/bdcom-p3608-2609/>.
6. PowerConnect 6024 D. Оптоволоконний зв'язок та телекомунікації [Електронний ресурс] / Dell PowerConnect 6024 – Режим доступу до ресурсу: <https://s4u.com.ua/dell-6024.html>.
7. Dell P. Оптоволоконний зв'язок та телекомунікації [Електронний ресурс] / PowerConnect 6224 Dell. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://server-shop.ua/kommutator-dell-powerconnect-6224-24-port-gigabit-k201.html>.
8. Компания I /. Глава 2. Особенности построения FTTH на базе PON [Електронний ресурс] / /ic-line компания. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://ic-line.ua/wiki/pon-glava2>.
9. Компания I. GERON Splitter [Електронний ресурс] / ic-line Компания. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://ic-line.ua/passivnoe-oborudovanie-xpon/deliteli-plc#prettyPhoto>.
10. Компания I. GERON Couplers [Електронний ресурс] / ic-line Компания. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://ic-line.ua/passivnoe-oborudovanie-xpon/deliteli-fbt>.
11. Компания I. 2.3.3 Итоговое сравнение делителей [Електронний ресурс] / ic-line Компания. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://ic-line.ua/wiki/itogovoe-sravnenie-delitelej>.

12. ООО \"КаталогСервис. Правила прокладки ВОЛС [Электронный ресурс] / ООО \"КаталогСервис. – 2024. – Режим доступа до ресурсу: https://skomplekt.com/technology/pravila_prokladki_vols.htm/.

13. Accuenergy Inc. Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) [Электронный ресурс] / Accuenergy Inc.. – 2023. – Режим доступа до ресурсу: <http://surl.li/mwbrf>.

14. Howard. Understanding Link Aggregation and LACP [Электронный ресурс] / Howard – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://community.fs.com/ru/article/understanding-link-aggregation-control-protocol.html>.

15. Howard. What is SNMP and how does it work? [Электронный ресурс] / Howard. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://community.fs.com/ru/article/understanding-snmp.html>.

16. Charlene What is IGMP snooping? [Электронный ресурс] / Charlene – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://community.fs.com/ru/article/what-is-igmp-snooping.html>.

17. Технологія якості N. Функція DDM в SFP/SFP+ модулях [Электронный ресурс] / Ntema Технологія якості. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://ntema.com.ua/article/ddm-funkciya-v-sfp-sfp-modulyah>.

18. Hayden A. What is dhcp snooping and why should i use it? [Электронный ресурс] / Ali Hayden. – 2023. – Режим доступа до ресурсу: <https://fiberroad.com/ru/resources/glossary/what-is-dhcp-snooping-and-why-should-you-use-it/>.

19. Компанія І. РАСЧЁТ ОПТИЧЕСКОГО БЮДЖЕТА ПОТЕРЬ [Электронный ресурс] / ic-line Компанія. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <http://ic-line.ua/wiki/7-raschjot-opticheskogo-byudzheta-poter>.