

АРХІТЕКТУРА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ (PON)

У статті розглядаються нові принципи та підходи до проектування телекомунікаційних мереж “останньої милі” для забезпечення швидкої та якісної передачу даних. Описаний принцип роботи пасивних оптичних мереж та топології їх побудови. Також описані існуючі стандарти PON та наведений порівняльний аналіз технологій APON, EPON і GPON.

Ключові слова: пасивна оптична мережа, телекомунікаційна мережа, топологія мережі, метод доступу.

Вступ. Поява нових послуг зв'язку, розвиток мереж зв'язку, в першу чергу Internet, призвели до збільшення потоків даних, які передаються. Виникає потреба у збільшенні пропускної здатності мережі на всіх її ділянках і особливо на мережах абонентського доступу. Побудова мережі на основі кабелів з мідними витими парами не дозволяє організувати передачу високошвидкісних потоків на відстань більше 100 м. В останні роки завдяки зменшенню вартості оптичного кабелю (ОК), інших пасивних елементів а також оптоелектронних пристроїв стало можливим застосування волоконно-оптичних технологій на мережах абонентського доступу.

Перші кроки в технології пасивних оптичних мереж (PON) були зроблені в 1995 році, коли впливова група з 7 компаній (British Telecom, France Telecom, Deutsche Telecom, NTT, KPN, Telefonica і Telecom Italia) створила консорціум для втілення в життя ідеї множинного доступу по одному волокну.

У 1998 р. Міжнародний союз електрозв'язку (ITU-T) прийняв запропоновану FSAN специфікацію ATM PON (APON) у вигляді рекомендацій G.983.x, затвердивши незабаром і специфікацію Broadband PON (BPON). Починається будівництво пасивних оптичних мереж в Японії і США [1, 2].

Розвиток Ethernet привів в 2001 р. до початку роботи над специфікацією Ethernet PON (EPON) на основі протоколу управління безліччю вузлів (Multi-Point Control Protocol – MPCP). З'являється ще один різновид PON – Gigabit PON (GPON). Стандарт передбачає номінальну швидкість передачі 622 Мбіт/с або 1,25 і 2,5 Гбіт/с.

Принцип дії PON. Основна ідея архітектури PON – використання лише одного модуля в OLT (optical line terminal) для передачі інформації безлічі абонентських пристроїв ONT (optical network terminal в термінології ITU-T), які називаються ONU (optical network unit в термінології IEEE) і прийому інформації від них. Кількість ONT, підключених до одного OLT залежить від потужності і максимальна швидкість приймально-передавального обладнання (рис.1).

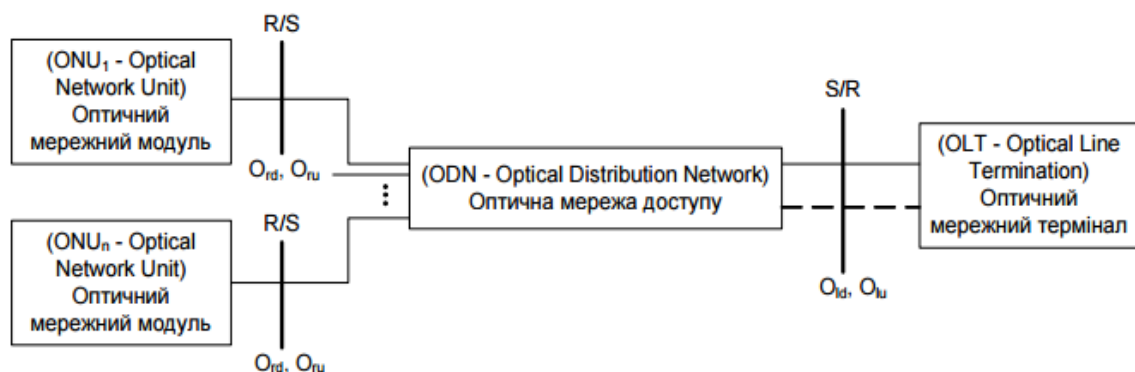


Рис. 1. Основні елементи архітектури PON

Пасивна оптична мережа має топологію дерева. У проміжних вузлах дерева розміщуються пасивні оптичні розгалужувачі (splitters) – компактні пристрої, які не потребують електроживлення та обслуговування.

Прямий потік на рівні оптичних сигналів, є ширококовним. Кожен абонентський вузол ONT, читаючи адресні поля, виділяє з цього загального потоку призначену тільки йому частину інформації. Фактично, ми маємо справу з розподіленим демультиплексором. Усі абонентські вузли ONT ведуть передачу в зворотному потоці на одній і тій же довжині хвилі, використовуючи концепцію множинного доступу з тимчасовим розділенням TDMA (time division multiple access). Щоб унеможливити перетин сигналів від різних ONT, для кожного з них встановлюється свій індивідуальний розклад по передачі даних з урахуванням поправки на затримку, пов'язану з видаленням цього ONT від OLT. Цю задачу вирішує протокол TDMA MAC.

Топології мереж доступу. Існують чотири основні топології побудови оптичних мереж доступу [3,4]:

Топологія «точка-точка», яка наведена на рис 2 (point to point – P2P), не накладає обмеження на мережну топологію, вона може бути реалізована як для будь-якого мережного стандарту, так і для нестандартних рішень. З погляду безпеки і захисту переданої інформації в з'єднанні P2P забезпечується максимальна захищеність абонентських вузлів. Оскільки ОК потрібно прокладати індивідуально до абонента, цей підхід є найбільш затратним.

а) центральний вузол OLT (optical line terminal)-пристрій, що встановлюється в центральному офісі, він приймає дані з боку магістральних мереж через інтерфейси SNI (service node interfaces) і формує прямий (спадний) потік до абонентських вузлів деревом PON;

б) абонентський вузол ONT (optical network terminal) має, з одного боку, абонентські інтерфейси, а з іншого – інтерфейс для підключення центрального вузла PON; дані від OLT приймаються ONT та передаються абонентам через абонентські інтерфейси UNI (user network interfaces), формуючи зворотний (висхідний) потік.



Рис. 2. Топологія P2P – “точка-точка”

Топологія «дерево з пасивним оптичним розгалуженням», або «точка - багатоточка», (point-to-multipoint-P2MP) наведена на рис.3. До одного порту центрального вузла підключається будь-якій волоконно-оптичний сегмент деревоподібної архітектури, що охоплює десятки абонентів, в проміжних вузлах дерева встановлюються оптичні розгалужувачі. У загальному випадку розгалужувач має М вхідних і N вихідних портів. У мережах PON найчастіше використовують розгалужувачі 1xN з одним вхідним портом. Розгалужувачі 2xN використовуються в системах з резервуванням окремим волокном.

Мережа цієї топології більш економічна, ніж топологія P2P, внаслідок скорочення сумарної довжини оптичних волокон, тому що на ділянці від центрального вузла до розгалужувача використовується лише одне волокно. Іншим джерелом економії є скорочення кількості оптичних передавачів і приймачів у центральному вузлі.

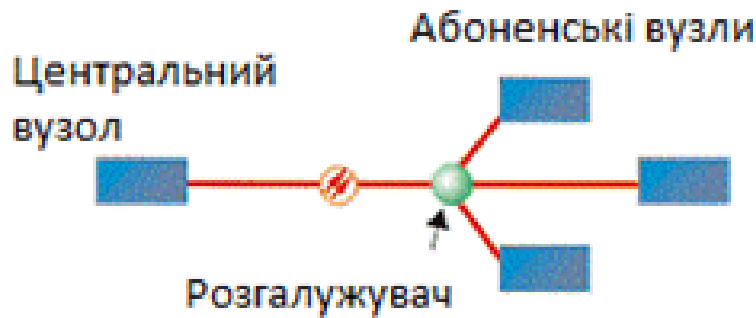


Рис. 3. Топологія P2MP – “дерево з пасивним оптичним розгалуженням”

Переваги цієї топології такі:

- відсутність проміжних активних вузлів;
- економія оптичних приймально-передавальних пристроїв у центральному вузлі;
- економія волокон;
- легкість підключення нових абонентів.

Деревоподібна топологія P2MP дозволяє оптимізувати розміщення оптичних розгалужувачів виходячи з реального розташування абонентів, витрат на прокладку ОК і експлуатацію кабельної мережі.

Топологія «дерево з активними вузлами» (рис. 4) – це економічне з погляду використання волокна рішення, воно відповідає стандарту Ethernet з ієрархією швидкостей від центрального вузла до абонентів 1000/100/10 Мбіт/с (1000 Base-FL).

Однак у кожному вузлі дерева обов'язково встановлюється активний пристрій (стосовно до IP-мереж це комутатор або маршрутизатор). Оптичні мережі доступу Ethernet, які переважно використовують дану топологію, відносно недорогі. Їх недоліком є наявність на проміжних вузлах активних пристроїв, що потребують індивідуального живлення.

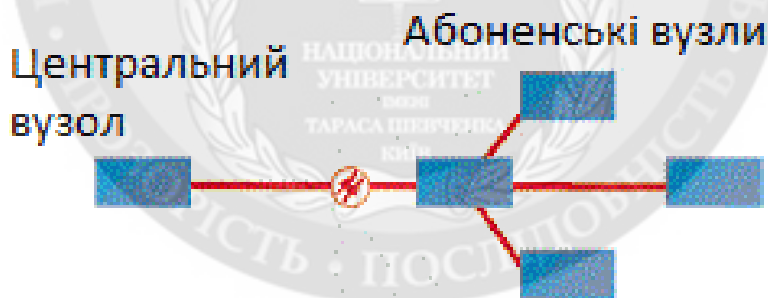


Рис. 4. Топологія “дерево з активними вузлами”

Кільцева топологія – «кільце» (рис. 5) частіше використовується в телекомунікаційних мережах з використанням технологій синхронної цифрової ієрархії SDH (Synchronous Digital Hierarchy), вона передбачає прокладання двох оптичних кабелів, інформація передається двома волокнами одночасно в різних напрямках, чим забезпечується висока надійність, однак для підключення нових абонентів треба розривати кільце та вставляти додаткові сегменти. Мережу з такою топологією складно нарощувати.

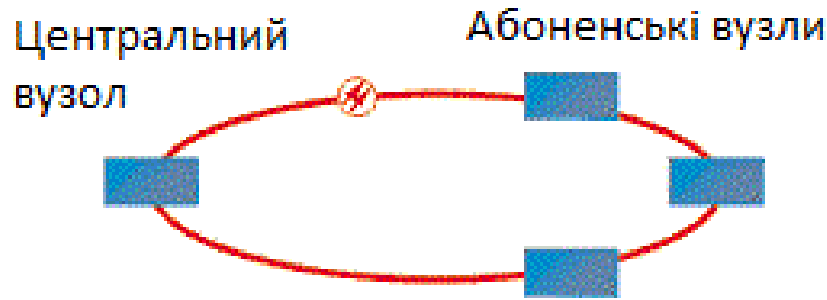


Рис. 5. Топологія “кільце”

Стандарти PON. В пасивних оптичних мережах використовують такі стандарти [5]:

APON (ATM PON) на основі технології ATM;

BPON (широкосмугова PON);

EPON (Ethernet PON), на основі технології Ethernet;

GPON(Gigabit PON), на основі технології Gigabit Ethernet.

Функціонування мережі регламентується стандартами ITU-T G.983.x(x = 1-7), та G.984.x. (x = 1-4).

APON/BPON. Цей стандарт (ITU-T G.983.1) базується на транспорті чарунок ATM, ним гарантується прийнятна якість послуг зв'язку QoS між кінцевими абонентами у дереві PON. Далі з'явилися нові рекомендації у серії G.983.x швидкість передачі збільшилася до 622 Мбіт/с. У 2001 році з'явилася рекомендація G.983.3, що додає нові функції в стандарт PON:

а) передачу різних видів інформації: голосу, відео, даних;

б) розширення спектрального діапазону, яке дає можливість надання додаткових послуг на інших довжинах хвиль в умовах того ж самого дерева PON, наприклад, передачу телебачення на третій довжині хвилі; цей розширений стандарт зветься BPON.

В APON допускається динамічний розподіл смуги між різними видами інформації і різними ONT, стандарт розрахований на надання як широкосмугових, так і вузькосмугових послуг (табл. 1). Обладнанням APON різних виробників підтримуються магістральні інтерфейси: SDH (STM-1), ATM (STM-1/4), Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, відео, абонентські інтерфейси E1 Ethernet 10/100 Base-TX, телефонія. Оскільки прямий потік в дереві PON широковіщальний та потенційно існує можливість несанкціонованого доступу до даних з боку ONT, якому ці дані не адресовані, в APON передбачена можливість передачі даних у прямому потоці з використанням шифрування. Необхідності шифрування зворотного потоку немає, оскільки OLT знаходиться на території оператора.

EPON. Цей стандарт дозволяє побудувати архітектуру PON найбільш наближену до мереж Ethernet. Стандартизовані такі рішення для оптичних мереж доступу:

а) EFMF (EFM fiber, EFM- Ethernet in the first mile- Ethernet на першій милі) - рішення, засноване на з'єднанні «точка-точка» волокном, в якому використовуються різні варіанти: «дуплекс одним волокном на однакових довжинах хвиль», «дуплекс одним волокном на різних довжинах хвиль», «дуплекс парою волокон», нові варіанти оптичних приймально-передавальних пристроїв;

б) EFMP (EFM PON) – рішення, засноване на з'єднанні « точка-багато- точка» волокном, яке є альтернативою APON, має схожу назву EPON.

GPON. Архітектура мережі доступу GPON є продовженням технології APON. В ній реалізується збільшення як смуги пропускання мережі PON, так і ефективності передачі різних видів інформації (стандарт GPON ITU-T Rec. G.984.3). В GPON надається масштабована структура кадрів з швидкостями передачі від 622 Мбіт/с до 2,5 Гбіт/с і використовуються системи як з однаковою швидкістю передачі прямого й зворотного потоку в дереві PON, так і з різною. GPON базується на стандарті ITU-T G.704.1GFP(generic framing protocol--загальний протокол кадрів), забезпечуючи інкапсуляцію в синхронний

транспортний протокол будь-якого типу сервісу, у тому числі TDM (Time-Division Multiplexing – часове мультиплексування). Якщо в SDH реалізується тільки статичний розподіл смуги, то протокол GFP, який є базовою процедурою формування кадрів, дозволяє динамічно розподіляти смугу, зберігаючи структуру кадру SDH.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз технологій APON, EPON і GPON

Характеристики	APON (BPON)	EPON	GPON
Інститути стандартизації / альянси	ITU-T SG 15/FSAN	IEEE/EFMA	ITU-T SG15 / FSAN
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Швидкість передачі, прямий/зворотний потік, Мбіт/с	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155, 622,1244 2488/622, 1244, 2488
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH
Лінійний код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальний радіус мережі, км	20	20	20
Максимальна кількість ONT на одне волокно	32	16	64 (128)*
Аплікації	будь-які	IP-дані	будь-які
Корекція помилок FEC	передбачена	немає	необхідна
Довжини хвиль прямого/зворотногопотоків, нм	1550/1310(1480/1310)	1550/1310 (1310/1310)* *	1550/1310 (1480/1310)
Динамічний розподіл смуги	є	здійснюється на більш високих рівнях	є
IP-фрагментація	є	немає	є
Захист даних	шифрування відкритими ключами	немає	шифрування відкритими ключами
Резервування	є	немає	є
Оцінка підтримки голосових додатків і QoS	висока	низька	висока

Висновки. Технологія PON вже сьогодні займає лідируюче місце на ринку широкосмугового доступу. Основними перевагами є економія волокон завдяки підключенню багатьох абонентів на одне волокно, ефективне використання смуги пропускання оптичного волокна, висока швидкість передачі даних, надійність за рахунок використання сплітерів які не потребують обслуговування та можливість легко нарощувати мережу. До недоліку можна віднести збільшену складність технології PON і відсутність резервування в простій топології дерева.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пасивні оптичні мережі доступу (xPON). Навчальний посібник/ під редакцією Катка В. Б. К., 2006. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://shron.chtyvo.org.ua/Odnoroh_PM/Pasyvni_optychni_merezhi_xPON.pdf. (дата звернення 11.05.2016) – Назва з екрану.
2. Вікіпедія [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Пасивна оптична мережа. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=Пасивна_оптична_мережа&oldid=16601901(дата звернення 11.05.2016) – Назва з екрану.
3. Андрушко Л.М., Вознесенский В.А., Каток В.Б. и др. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / Под ред. Свечникова С.М. и Андрушко Л.М. - К.: Техніка. 1988. -239 с.
4. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. - М.: ОБРАЗ. 2006. - 320 с.
5. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи: Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия-Телеком. 2007. -464 с.

REFERENCES:

1. Pasyvni optychni merezhi dostupu (xPON). Navchal'nyy posibnyk/ pid redaktsiyeyu Katka V. B. K., 2006. – [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu: http://shron.chtyvo.org.ua/Odnoroh_PM/Pasyvni_optychni_merezhi_xPON.pdf. (data zvernennya 11.05.2016) – Nazva z ekranu.
2. Vikipediya [Elektronnyy resurs] : [Veb-sayt]. – Pasivna optichna merezha. Rezhim dostupu: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=Pasivna_optichna_merezha&oldid=16601901(data zvernennya 11.05.2016) – Nazva z ekranu.
3. Andrushko L.M., Voznesenkiy V.A., Katok V.B. i dr. Spravochnik po volokonno- opticheskim liniyam svyazi / Pid red. Svechnnkova S.M. i Andrushko L.M. - K.: Tekhnika. 1988. -239 s.
4. Beyli D., Rayt E. Volokonnaya optika: teoriya i praktika. - M.: OBRAZ. 2006. - 320 s.
5. Portnov E.L. Opticheskie kabeli svyazi i passivnye komponenty volokonno - opticheskikh liniy svyazi: Uchebnoeposobie dlya vuzov. - M: Goryachayaliniya-Telekom. 2007.-464s.

Рецензент: д.т.н., проф. Шворов С.А., Національний університет біоресурсів і природокористування

к.т.н. Красильников С.Р., Заморока О.И., Жиров Б.Г.
**АРХИТЕКТУРА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАССИВНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (PON)**

В статье рассматриваются новые принципы и подходы к проектированию телекоммуникационных сетей "последней мили" для обеспечения быстрой и качественной передаче данных. Описанный принцип работы пассивных оптических сетей и топологии их построения. Также описаны существующие стандарты PON и приведен сравнительный анализ технологий APON, EPON и GPON.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, телекоммуникационная сеть, топология сети, метод доступа.

Ph.D. Krasilnikov S.R., Zamoroka O.I., Zhyrov B.G.
ARCHITECTURE AND PRINCIPLE OF OPERATION PASSIVE OPTICAL NETWORKS (PON)

The article deals with new principles and approaches to designing telecommunication network "last mile" to ensure rapid and qualitative data. Described principle of passive optical networks and topology of their construction. Also described existing PON standards and Comparative analysis technology APON, EPON and GPON.

Keywords: passive optical network, telecommunication network topology of the network access method.