

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства

Виконав: студент 6 курсу, групи 601-ТТ
спеціальності 172 «Телекомунікації та
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)
радіотехніка

Швидкий В.Ю. *В.Ю.*
(прізвище та ініціали)

Керівник Штомпель М.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Мудренко О.С.
(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
 робототехніки
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
 автоматики, електроніки та
 телекомунікацій


 О.В. Шефер
 “ 04 ” 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Швидкому Владиславу Юрійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«Розробка оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства»**
керівник проекту (роботи) Штомпель Микола Анатолійович, д.т.н., професор
 затверджена наказом вищого навчального закладу від “ 04 ” 09 2023 року № 986
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Мережа – GPON, мережева топологія – “дерево”, оптичний лінійний термінал (OLT) – GL5610-16P, абонентський термінал – BDCOM GP1702-1G, SFP трансивер – Cisco GLC-T, оптичний спліттер – PLC Splitter 1x32, SC/UPC, 900 um, G657A FiberField та IPCOM COUPLER FBT 1X2 1310/1550-30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M, , оптичний кабель – Fifix OTLMr-2F-G652D-PE-1,5kN та FinMark PS001-SM-02, оптична муфта – Crosver FOOSC-A та FOOSC-X, операційна система – Microsoft Windows Server 2022.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Описання роботи технології PON. Вибір топології. Вибір технології FTTx. Порівняння WDM-PON, GPON і XG-PON. Постановка задачі на проектування. Вибір обладнання. Розрахунок параметрів мережі. Проектування мережі. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 1) основи технології PON;

- 2) вибір технології FTTx;
- 3) вибір топології;
- 4) вибір розгалужувачів;
- 5) розрахунок оптичного бюджету лінії PON;
- 6) структурна схема сегмента мережі PON для розрахунку бюджету втрат;
- 7) висновки.

6. Дата видачі завдання 02.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Аналіз літератури та джерел за темою дипломного проекту. Вступ	11.10.23		15%	Пл. 1
2	Дослідження архітектури та принцип дії технології PON	18.10.23	I	30%	Пл. 2
3	Порівняння WDM-PON, GPON і XG-PON	25.10.23		40%	Пл. 4
4	Алгоритм проектування мереж доступу на основі технології PON	14.11.23		50 %	Пл. 5
5	Вибір обладнання	21.11.23	II	60%	Пл. 6
6	Розрахунок оптичного бюджету мережі	28.11.23		70%	Пл. 7
7	Висновки та пропозиції	06.12.23		90%	Пл. 8
8	Оформлення магістерської роботи	13.12.23	III	100%	

Магістрант


(підпис)

Швидкий В.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Штомпель М.

(прізвище та ініціали)

ПЕРЕ.
ВСТУ
РОЗДІ

РОЗДІ

РОЗДІ

ВИСНО

СПИСО

ДОДАТ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД PON.....	9
1.1 Виникнення технології PON	9
1.2 Характеристики WDM-PON, GPON і XG-PON та їх порівняння....	11
1.3 Пасивні оптичні мережі (PON) під час блекауту в Україні.....	15
1.4. Особливості проектування пасивних оптичних мереж доступу.....	18
1.5 Вибір технології FTTx	19
1.6 Топології мережі PON	22
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ МЕРЕЖІ PON	26
2.1 Живлення PON	26
2.1.1 Порівняння живлення HFC проти PON.....	28
2.1.2 Вибір розмірів ДБЖ для малих навантажень.....	33
2.1.3 Моніторинг стану ДБЖ для програм живлення R- OLT.	35
2.1.4 Моніторинг стану ДБЖ для програм живлення EDFA.....	38
2.1.5 Небезпека підключення електроживлення поза приміщенням.....	43
2.1.6 Ферорезонансний огляд.....	44
2.2 Оптичний лінійний термінал OLT	49
2.3 Абонентський термінал ONT.....	52
2.4 SFP трансивер.....	54
2.5 Оптичний розгалужувач.....	56
2.6 Оптичний кабель	60
2.7 Оптична муфта	63
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОГО БЮДЖЕТУ ЛІНІЇ PON	66
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТКИ.....	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- APON – ATM PON - перший стандарт пасивних оптичних мереж ІТУ-Т G.983.x, що базується на транспорті осередків АТМ
- BPON – Broadband PON - широкопasmугова PON (розвиток стандарту APON ІТУ-Т G.983)
- CATV – Cable Television – кабельне телебачення
- DOCSIS – (Data Over Cable Service Interface Specifications) - це стандарт передачі даних по коаксіальному кабелю, який використовується для надання широкопasmугового доступу в Інтернет.
- PON – Пасивна оптична мережа
- HFC – Гібридні оптико-коаксіальні мережі
- FTTH – Fiber To The Home - доведення кабелю з ОВ до житлового будинку
- ITU-T – (від англ. International Telecommunication Union, Telecommunication sector) - Міжнародний союз електрозв'язку
- GPON – Gigabit PON - стандарт пасивних оптичних мереж ІТУ-Т G.984.3, що розглядається як органічне продовження APON/BPON
- OLT – (Optical Line Terminal) - пристрій, що встановлюється в центральному офісі. Це пристрій приймає дані з боку магістральних мереж через інтерфейси SNI (Service Node Interfaces) і формує низхідний потік до абонентських вузлів (прямий потік) по дереву PON

- ONT – (Optical Network Terminal) - має, з одного боку, абонентські інтерфейси, а з іншого, - інтерфейс для підключення до дерева PON. ONT приймає дані від OLT, конвертує їх і передає абонентам через абонентські інтерфейси UNI (User Network Interfaces)
- ONU – (від англ. Optical Network Unit) - оптичний мережевий модуль
- ODF – Optical Distribution Frame – оптична розподільна панель
- QOS – (quality of service) - здатність мережі забезпечити пріоритетному трафіку необхідний сервіс за обмеженої пропускної спроможності
- QSW – Квазіквадратна хвиля - тип хвилі, яка має форму, близьку до квадратної. QSW генеруються в лінійних системах, коли в них діють нелінійні ефекти
- WDM – (англ. Wavelength-division multiplexing, WDM) - спектральне ущільнення каналів. Технологія, що дозволяє одночасно передавати кілька інформаційних каналів по одному оптичному волокну на різних несучих частотах.

ВСТУП

В сучасному світі, де технологічний прогрес стрімко розвивається, телекомунікаційні системи стають серцевиною ефективного функціонування підприємств. Актуальність теми розробки оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства за допомогою технології PON (Passive Optical Network) визначається необхідністю вдосконалення існуючої мережі для відповідності сучасним стандартам та забезпечення ефективного обслуговування. Важливо враховувати можливість блекаутів, що підкреслює необхідність розробки оптичного сегменту для забезпечення стійкості телекомунікаційної інфраструктури підприємства.

Огляд сучасного стану технічних рішень у галузі телекомунікацій, проведений на основі аналізу вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури, патентного пошуку та досвіду провідних фірм у даній області, свідчить про несамовитий ріст обсягів передаваної інформації, а також збільшення вимог до надійності та швидкості передачі даних. Традиційні телекомунікаційні мережі вже не завжди відповідають цим викликам, що визначає актуальність нових рішень.

Метою даного дослідження є розробка оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства з використанням технології PON. Це необхідно для підвищення продуктивності, ефективності витрат та забезпечення високошвидкісного та стабільного доступу до мережі для підприємства та його клієнтів.

Для досягнення цієї мети будуть використані наступні методи: аналіз сучасного стану проблеми, вивчення вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури та періодичних видань, патентний пошук, а також досвід роботи провідних підприємств, установ та фірм у відповідній галузі виробництва або науки. Результати цих досліджень допоможуть обґрунтувати основні проектні рішення та напрямки досліджень.

Для виконання поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз технології PON;
- проаналізувати особливості проектування пасивних оптичних мереж доступу;
- обрати топологію та технологію FTTx;
- провести вибір мережевого обладнання;
- розробити структурну схему сегмента мережі;
- провести розрахунок оптичного бюджету лінії PON.

Таким чином, розробка оптичного сегменту телекомунікаційної мережі за допомогою технології PON є стратегічно важливим напрямком досліджень, спрямованим на вирішення сучасних викликів у галузі телекомунікацій та підтримку подальшого розвитку підприємства.

В результаті виконання цієї роботи очікується розробка ефективного та надійного оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства, який зможе задовольнити потреби сучасного бізнесу в швидкісному і надійному доступі до інтернету.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД PON

1.1 Виникнення технології PON

PON (Passive Optical Network) - це телекомунікаційна технологія передачі даних, яка використовує оптичні кабелі та розподільчі пристрої для забезпечення доступу до Інтернету та інших мережних послуг. Історія PON сягає 1995 року, коли японська компанія NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) вперше представила її під назвою BPON (Broadband PON).

BPON була першою комерційною реалізацією PON, яка забезпечувала швидкість передачі даних на рівні до 622 Мбіт/с та могла обслуговувати до 32 абонентів одночасно на одному порту. У 2003 році з'явилася GPON (Gigabit Ethernet PON) з ще вищою швидкістю передачі даних - 1 Гбіт/с.

У 2004 році була представлена GPON (Gigabit-capable PON), яка на сьогоднішній день є найпоширенішою технологією PON. GPON забезпечує швидкість передачі даних до 2,5 Гбіт/с в напрямку до абонента та до 1,25 Гбіт/с в напрямку від абонента, дозволяючи обслуговувати до 64 абонентів на одному порту.

Останнім часом технологія XG-PON (10G PON) набуває популярності, забезпечуючи вражаючу швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с в напрямку до абонента та до 2,5 Гбіт/с в напрямку від абонента.

Це означає, що користувачі можуть дивитися відео з високою роздільною здатністю, стрімити мультимедійні контенти та здійснювати відеодзвінки без проблем з буферизацією або перериваннями. Завдяки високій швидкості передачі даних, користувачі PON можуть миттєво отримувати доступ до інформації та взаємодіяти з онлайн-додатками, що робить їхній досвід користування інтернетом комфортнішим і продуктивнішим. Це особливо важливо для користувачів, які використовують стрімінгові сервіси, як-от Netflix, YouTube і Spotify, що потребують швидкої передачі даних для відтворення контенту без затримок.

При використанні PON, користувачі можуть насолоджуватися високошвидкісним потоковим відео і музикою без необхідності турбуватися про час завантаження або необхідної пропускну здатності. Крім того, можливість високошвидкісної передачі даних PON дає змогу користувачам ефективно використовувати онлайн-додатки, як-от хмарне сховище даних і відеоконференції. Користувачі можуть завантажувати і синхронізувати великі файли, працювати з групою колег віддалено і проводити презентації в реальному часі, не відчуваючи затримок або втрати якості під час передачі даних. Таким чином, можливість високошвидкісного передавання даних - це одна з головних переваг PON перед іншими технологіями передавання даних.

Застосування PON уже давно знайшло вдосконалення в різних країнах світу, таких як Японія, Корея, Китай, Європа та США. Ці країни є піонерами у розвитку PON і мають значну частку ринку цієї технології.

У останні роки PON активно розвивається і в інших країнах, таких як Австралія, Бразилія, Індія, Індонезія, Мексика, Росія, Сінгапур, Таїланд, Туреччина та Україна. Ці країни інвестують у розвиток PON, оскільки ця технологія забезпечує високу пропускну здатність, надійність і економічність.

Цей список не є вичерпним, оскільки PON використовується в багатьох інших країнах світу.

В Україні PON також активно розвивається. У 2022 році в Україні було підключено до PON понад 1 мільйон абонентів. Цей показник зростає щороку, і до 2025 року в Україні планується підключити до PON понад 5 мільйонів абонентів.

Отже, PON є технологією з глибокою історією розвитку, постійно удосконалюється та надає доступ до високошвидкісних Інтернет-послуг, телефонії, високоякісного телебачення та інших мультимедійних сервісів.

1.2 Характеристики WDM-PON, GPON і XG-PON та їх порівняння

Гігабітний доступ GPON (Gigabit Passive Optical Network) є типом точка-багатоточкової оптичної мережі, де пасивні розгалужувачі в оптичному волоконному розподільному каналі відіграють ключову роль. Ця технологія дозволяє ефективно використовувати одне оптичне волокно, що походить від центрального офісу постачальника, для обслуговування кількох будинків і невеликих підприємств.

Основна особливість GPON полягає у використанні пасивних розгалужувачів (Splitter) в оптоволоконній розподільній мережі (ODN). Пасивні розгалужувачі не вимагають живлення, тому GPON є економічним і надійним рішенням для побудови великих мереж доступу.

З іншого боку, WDM-PON, що означає пасивну оптичну мережу з мультиплексуванням з поділом по довжині хвилі, є технологією мережі доступу з потенціалом для трансформаційних змін в інфраструктурі операторів зв'язку. WDM-PON представляє логічну архітектуру "точка-точка", засновану на принципах, що базуються на довжині хвилі, яка накладається на фізичну топологію "точка-багатоточка". Цей інноваційний підхід використовує технології мультиплексування і демуплексування WDM для розділення сигналів даних на окремі вихідні сигнали, які можуть бути пов'язані з різними будівлями або домогосподарствами. Таке апаратне розділення трафіку надає клієнтам переваги, притаманні безпечним і масштабованим з'єднанням "точка-точка", дозволяючи при цьому операторам підтримувати надзвичайно низьку кількість волокон. Як наслідок, це призводить до значного зниження експлуатаційних витрат. У сучасному мережевому ландшафті WDM-PON стає ключовою технологією, особливо в контексті розвитку магістральної інфраструктури 5G.

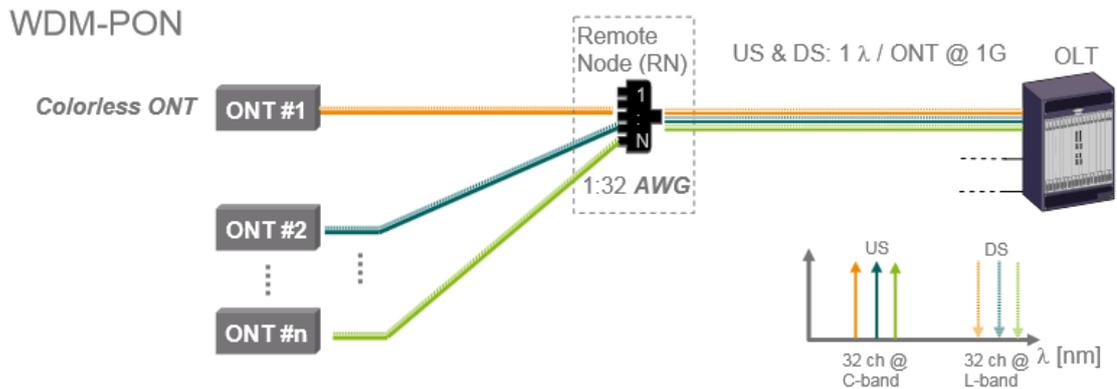


Рисунок 1.2.1 – Технологія WDM-PON

XG-PON, яку також називають 10G-PON, являє собою вдосконалення технології GPON, пропонуючи основу для переходу на швидкість прийому сигналу 10 Гбіт/с для низхідних користувачів і 2,5 Гбіт/с для висхідних користувачів. У контексті XG-PON низхідний сигнал для кінцевих користувачів працює в спектральному діапазоні від 1575 нм до 1580 нм, тоді як висхідний сигнал для користувачів знаходиться в діапазоні від 1260 нм до 1280 нм. Ця технологія, 10G-PON, повністю повторює архітектуру "точка-багатоточка" (P2MP), характерну для GPON, і демонструє універсальність у застосуванні різних сценаріїв доступу, включаючи, але не обмежуючись ними: fiber to the home (FTTH), fiber to the building (FTTCell), fiber to the building (FTTB), fiber to the curb (FTTCurb), і fiber to cabinet (FTTCabinet).

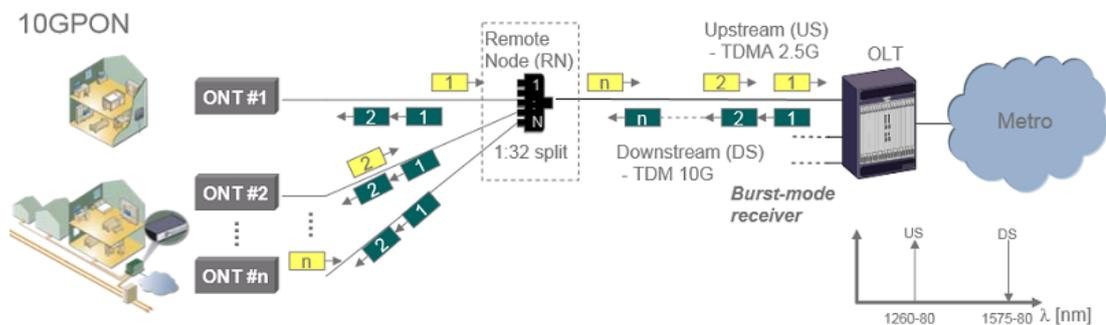


Рисунок 1.2.2 – Технологія XG-PON

У таблиці 1.2.1 було надано короткий огляд технічних можливостей GPON, XG-PON і WDM-PON.

Таблиця 1.2.1 – Порівняння технічних характеристик GPON, XG-PON та WDM-PON

	GPON	XG-PON	WDM-PON
Висхідний потік (nm)	1260-1360	1260-1280	Множина
Низхідний потік (nm)	1480-1500	1575-1580	Множина
Швидкість висхідної лінії	1.2Gbps	2.5/10Gbps	1Gbps
Швидкість низхідної лінії	2.5Gbps	10Gbps	1Gbps
Співіснування GPON	Ні	Так	Так

GPON та XG-PON: Для підвищення швидкості передачі даних при одночасній оптимізації використання існуючої волоконно-оптичної інфраструктури з метою зниження витрат було розроблено технологію XG-PON, яка відповідає цим вимогам. XG-PON підтримує структуру мережі, подібну до GPON, але використовує різні довжини хвиль у висхідному та низхідному потоках. Важливо, що ці дві технології можуть гармонійно співіснувати, захищаючи інвестиції, зроблені мережевими операторами.

GPON та WDM-PON: Основні відмінності між GPON і WDM-PON в основному стосуються пропускної здатності і використанні волокна. У випадку WDM-PON можна легко визначити пропускну здатність, що виділяється для кожного користувача, оскільки кожному кінцевому користувачеві призначається виділена довжина хвилі. Зазвичай на кожній

довжині хвилі передається сигнал Gigabit Ethernet (GbE), що забезпечує фіксовану пропускну здатність 1,25 Гбіт/с для окремих кінцевих користувачів. Варто зазначити, що WDM-PON не пропонує особливих переваг у випадках, коли контент сигналу переважно транслюється, як, наприклад, звичайне IP-телебачення. У таких сценаріях сигнал мовлення повинен бути реплікований через оптичний лінійний термінал (OLT) на кожну довжину хвилі і незалежно доставлений кожному користувачеві. Оцінка пропускну здатності GPON на одного користувача є більш складною, оскільки вона критично залежить від набору послуг, що надаються користувачам, і вимагає ретельного врахування численних елементів.

Однією з помітних переваг GPON є двонаправлена передача, на відміну від однонаправленої передачі, яка використовується в нашому прикладі WDM-PON. Отже, GPON більш ефективно використовує волоконну інфраструктуру. Хоча односпрямована передача можлива і в WDM-PON, але вона пов'язана з певними витратами.

WDM-PON та XG-PON: Істотна різниця між WDM-PON і XG-PON стосується бюджету оптичного каналу. Схема передачі для WDM-PON є відносно простою, а загасання в основному виникає через втрати в мультиплексорах/демультиплексорах (MUX/DeMUX) і поширення волокна, враховуючи такі фактори, як роз'єми, патч-панелі та інші елементи інфраструктури доступу, що послаблюють сигнал. Наприклад, у випадку CWDM-PON стандартна CWDM-оптика може забезпечити потужність передачі 0 дБм, тоді як чутливість приймача залежить від типу використовуваного детектора. З PIN-детектором чутливість на швидкості 1,25 Гбіт/с (за умови передачі GbE) може становити приблизно -18 дБм.

І навпаки, для XG-PON стандартизація вимагає достатнього бюджету каналу зв'язку для XG-PON1, який визначає XG-PON, що дозволяє йому досягти охоплення, порівнянного з GPON B+ і GPON C. Беручи до уваги дещо більші втрати на довжинах хвиль XG-PON1 порівняно з довжинами хвиль GPON, а також інші відмінності в лінії передачі між GPON і XG-PON, можна

досягти бюджету в 29 дБ і 31 дБ, за умови порівняння з GPON B + або GPON C[1].

Крім того, з боку OLT, XG-PON отримує перевагу з точки зору енергоспоживання за рахунок використання спільних OLT-портів, на відміну від WDM-PON, який вимагає одного виділеного OLT-порту на абонента. Однак WDM-PON зазвичай може похвалитися меншим енергоспоживанням (через значно менші втрати від розгалужувача), що потенційно призводить до меншого енергоспоживання на передавач, ніж у XG-PON. Крім того, інтеграція (масиви Tx, Rx) і можливість відключення живлення невикористовуваних портів OLT можуть додатково сприяти економії електроенергії в WDM-PON. На стороні ONT, яка є основною областю енергоспоживання, XG-PON виграє від того, що не вимагає охолодження лазерів, в той час як WDM-PON може використовувати більш низькошвидкісні компоненти зі зниженими вимогами до енергоспоживання.

Враховуючи ці аспекти, GPON є оптимальним вибором для розробки оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства, забезпечуючи ефективність, економію та високу якість обслуговування [2].

1.3 Пасивні оптичні мережі (PON) під час блекауту в Україні

Пасивні оптичні мережі (PON) вважаються енергоефективними з кількох причин, в першу чергу через їх пасивний характер і спосіб розподілу оптичних сигналів. Ось деякі з ключових факторів, що сприяють енергоефективності PON:

1. Пасивні компоненти: Як випливає з назви, PON використовують пасивні компоненти, такі як оптичні розгалужувачі, які не потребують жодного джерела живлення для роботи. Ці розгалужувачі просто розділяють оптичний сигнал на кілька шляхів без будь-якої активної електроніки. Це зменшує потребу в енергоємному активному обладнанні в розподільчій мережі.

2. Спільна архітектура: PON використовують спільну архітектуру, де кілька кінцевих користувачів користуються спільною волоконно-оптичною лінією, що мінімізує кількість активних компонентів і знижує загальне енергоспоживання. На відміну від цього, традиційна архітектура "точка-точка" вимагає активного електронного обладнання на кожній кінцевій точці.

3. Енергоефективні кінцеві пристрої: Кінцеві пристрої оптичної мережі (ONT) на об'єктах замовника, як правило, спроектовані з урахуванням енергоефективності. Ці ONT споживають менше енергії в порівнянні з традиційними широкосмуговими модемами або іншим обладнанням в приміщенні замовника.

4. Зменшення довжини волокна: PON розроблені з метою мінімізації довжини оптичного волокна, необхідного для підключення користувачів до центрального офісу або оптичного лінійного терміналу (OLT). Менша довжина волокна означає менші втрати оптичного сигналу і меншу потребу в енергії.

5. Низька затримка та живлення в режимі очікування: PON зазвичай працюють в режимі з низькою затримкою, що означає, що вони не активно передають дані весь час. Коли дані потрібно передати, OLT надсилає сигнал, а ONT споживають енергію тільки під час активного зв'язку. У режимі очікування споживання енергії мінімальне.

6. Знижена потреба в охолодженні: Оскільки PON використовують менше активних електронних пристроїв і генерують менше тепла, вимоги до охолодження інфраструктури PON нижчі в порівнянні з традиційними активними мережами Ethernet. Це додатково сприяє енергоефективності.

7. Ефективність волоконної оптики: Оптичні волокна самі по собі дуже енергоефективні для передачі даних. Світлові сигнали в оптоволокні зазнають мінімальних втрат, що зменшує потребу в підсиленні та регенерації сигналу, які можуть бути енергоємними в інших мережевих архітектурах.

8. Масштабованість: PON легко масштабуються. У міру збільшення кількості користувачів в мережу можуть бути включені додаткові пасивні

розгалужувачі без значних змін в обладнанні центрального офісу. Така масштабованість зменшує потребу в масштабних енергоємних модернізаціях при розширенні мережі.

Важливо відзначити, що PON не повністю позбавлені енергоспоживання; оптичний лінійний термінал (OLT) і оптичне мережеве кінцеве обладнання (ONT) споживають енергію. Однак пасивна природа PON і спільне використання ресурсів декількома користувачами роблять їх значно енергоефективнішими порівняно з альтернативними мережевими технологіями, такими як традиційні мідні мережі DSL або активні мережі Ethernet.

Україна вже успішно використовує технологію PON для забезпечення безперебійного доступу до Інтернету в різних житлових та бізнес-об'єктах. Наприклад, у Львові PON грає важливу роль у забезпеченні доступу до Інтернету для лікарень, шкіл та інших важливих установ під час відключень електроенергії.

Потенціал PON для майбутніх відключень електроенергії:

PON мають значний потенціал для використання під час майбутніх відключень. Вони можуть забезпечити безперервний доступ до Інтернету для критично важливих установ та осіб, які покладаються на нього.

У разі наявності безперебійного живлення в квартирі або звичайного акумулятора, яким можна жити маршрутизатор, та наявності резервного забезпечення на вузлі зв'язку провайдера, користувач може мати доступ до Інтернету без перебоїв. Відзначимо, що в наш час більшість операторів активно прагнуть замінити традиційні оптоволоконні кабелі на пасивні оптичні мережі.

Наприклад, PON можна використовувати для забезпечення доступу до Інтернету в:

- Лікарнях та інших медичні установах.
- Школах та навчальних закладах.

- Урядових та інших державних установах.
- Військових та оборонних установах.

Крім того, PON можна використовувати для надання доступу до Інтернету людям, які проживають у районах, що зазнали руйнувань внаслідок конфліктів або інших надзвичайних ситуацій та часто страждають від відключень електроенергії. Це особливо важливо для людей, які проживають у сільській місцевості або в районах з підвищеним ризиком відключення електроенергії, тому що це зможе допомогти залишатися на зв'язку зі своїми близькими та отримувати життєво важливу інформацію.

За останніми звітами, всього 37% користувачів фіксованого зв'язку в Україні наразі використовують інтернет-мережі на базі PON, які можуть ефективно працювати навіть під час тривалих перебоїв в електропостачанні. Ця цифра представляє середній рівень по всій країні і вказує на необхідність прикласти додаткові зусилля для поліпшення стабільності інтернет-послуг по всій Україні [3].

У підсумку, технологія PON відзначається своєю стійкістю під час відключень електроенергії в Україні і має великий потенціал для використання в майбутніх сценаріях. Вона може відігравати критичну роль у забезпеченні безперервного доступу до Інтернету для важливих послуг та осіб, які на них покладаються, а і її переваги стають особливо важливими під час електричних перебоїв.

1.4. Особливості проектування пасивних оптичних мереж доступу

Особливістю технології PON порівняно з іншими оптичними технологіями є використання оптичних розгалужувачів для з'єднання з кількома абонентськими пристроями одного центрального вузла. Оптичні розгалужувачі розподіляють вхідну оптичну потужність між різними вихідними портами. З цим пов'язане згасання сигналу, яке зростає зі

збільшенням кількості підключених абонентських пристроїв. Таким чином, існує обернена залежність між максимальною відстанню до абонентів та їх кількістю: більше абонентів призводить до меншої максимальної дальності зв'язку.

Це вимагає розробки спеціальних методик для розрахунку бюджету втрат оптичної мережі. Проектування PON включає такі кроки:

1. Вибір технології FTTx.
2. Визначення місць встановлення ONU/ONT.
3. Вибір топології мережі, встановлення місць оптичних розгалужувачів та їх типів.
4. Вибір маршрутів та типу волоконно-оптичного кабелю.
5. Розрахунок енергетичних параметрів ОМД, включаючи бюджет втрат мережі, оптимальні коефіцієнти розгалуження для всіх оптичних розгалужувачів та визначення класу активного обладнання PON.

1.5 Вибір технології FTTx

У сімействі FTTx використовуються різні технології для передачі цифрових сигналів через оптичне волокно як основне середовище. Сфера застосування цих технологій варіюється залежно від близькості оптичного волокна до кінцевого користувача, на що впливають коливання вартості цих систем.

Залежно від ступеня впровадження FTTx, ці мережі можна розділити на окремі типи:

- FTTB - Fiber-to-the-Business (волокно до будівлі): Цей варіант передбачає прокладання оптичного волокна безпосередньо від комутатора центрального офісу до підприємства. Його характеризує спрямованість на задоволення потреб бізнес-сегмента, забезпечуючи надзвичайно ефективний та безперебійний обмін даними.

- FTTC - Fiber-to-the-Curb (волокно до бордюру): У цьому випадку оптоволоконні кабелі прокладаються від обладнання центрального офісу до комутатора зв'язку, розташованого в межах 300 метрів від будинку або підприємства. З'єднання з клієнтами в будівлі встановлюється за допомогою різноманітних середовищ передачі, таких як коаксіальний кабель, вита пара мідних дротів (наприклад, для DSL) тощо.

- FTTH - Fiber-to-the-Home (волокно до дому): Тут оптичне волокно розгортається безпосередньо від комутатора в центральному офісі до місця проживання. Важливою відмінністю від FTTB є вимоги до пропускну здатності, оскільки підприємства частіше потребують великої пропускну здатності на тривалий період, порівняно з домашніми користувачами.

- FTTN - Fiber-To-The-Neighborhood (волокно до сусідства): Ця конфігурація використовує PON архітектуру, де оптичні волоконні кабелі простягаються до 1 км від будинків і підприємств, обслуговуваних мережею.

- FTTO - Fiber-to-the-Office (волокно в офіс): Аналогічно FTTB, FTTO забезпечує прокладання оптичного волокна аж до приміщень бізнес-клієнта, забезпечуючи надійну та високошвидкісну мережеву інфраструктуру.

- FTTP - Fiber-to-the-Premises (волокно в приміщення): Цей термін охоплює різноманітні концепції FTTx і є преобладним. Архітектури FTTP включають як FTTB, так і FTTH реалізації, і можуть використовувати технології, такі як BPON, EPON або GPON для забезпечення високої продуктивності мережі [2].

Приведемо характеристику для описаних вище варіантів FTTx.

FTTN розглядається у випадках, коли розподільча "мідна" інфраструктура вже існує, а встановлення оптоволоконних кабелів не ефективно. Цей варіант характеризується обмеженою якістю послуг через обмежену кількість та швидкість підключень по одному кабелю. Довга мідна ділянка абонентської лінії вимагає використання оптичних технологій разом з VDSL.

У випадку з FTTC головним чином використовуються мідні кабелі всередині будівель, що дозволяє досягти вищої швидкості передачі. Оператори, які вже використовують технології xDSL або кабельного телебачення, можуть здійснити підвищення обслуговування та розширити пропускну здатність.

FTTB вирішує завдання ведення оптики до офісів і багатоквартирних будинків. Використання кабелю типу "кручена пара" дозволяє забезпечити високу швидкість доступу для обслуговування офісів та житлового сектору.

Технологія FTTH, хоча дорога, але найперспективніша серед інших FTTx, завдяки найвищій пропускній здатності, і може задовольнити зростаючі потреби абонентів у отриманні інформації.

Вибір технології FTTx повинен враховувати кілька факторів, таких як наявність мідної розподільної інфраструктури, платоспроможність та щільність населення. FTTH підходить для бізнес-центрів і багатоквартирних будинків, FTTP є оптимальним для об'єктів з високою платоспроможністю, а FTTC/FTTN підходить для менших житлових об'єктів з обмеженою концентрацією абонентів [8].

В даному проекті буде використана технологія FTTH, оскільки вона пропонує надзвичайну швидкість передачі даних. Це дозволяє ефективно використовувати Інтернет для відеоконференцій, потокового відео та роботи з великими обсягами даних. Також варто відзначити безпеку системи, оскільки оптоволоконний кабель надійно захищає дані від несанкціонованого доступу. Усі ці переваги роблять FTTH найкращим вибором для підприємств, що потребують високошвидкісного, надійного та безпечного доступу до Інтернету.

1.6 Топології мережі PON

Технологія PON (Passive Optical Network) використовує оптичний кабель для передачі сигналу безпосередньо від центральної станції до кінцевих користувачів. Оптичний кабель розгалужується на декілька підключень, які направляються до окремих будинків або квартир. Оскільки оптичний кабель забезпечує високу швидкість передачі даних та дозволяє передавати сигнал на великі відстані без втрати якості сигналу, PON є однією з найбільш ефективних технологій для передачі даних.

Архітектура PON формується шляхом поєднання елементарних топологій, таких як "зірка", "шина" і "дерево".

Топологія комп'ютерних мереж "зірка" - це структура, в якій центральним елементом є комутаційний пристрій, до якого всі комп'ютери підключені окремими лініями.

Цей комутаційний пристрій може бути представлений у вигляді концентратора (HUB) або комутатора. Цю топологію також називають "пасивною зіркою". Якщо комутаційним пристроєм є інший комп'ютер або сервер, то топологія може бути названа "активною зіркою". Цей комутаційний пристрій отримує сигнали від кожного комп'ютера, обробляє їх і передає до інших підключених комп'ютерів.

Ця топологія має численні переваги. Однією з найважливіших є той факт, що комп'ютери в цій мережі не залежать один від одного. При поломці одного з них, інші комп'ютери можуть продовжувати працювати. Крім того, новий комп'ютер може бути легко підключений до такої мережі, і це не впливає на роботу інших елементів мережі. Ця топологія дозволяє легко виявляти неполадки в мережі. Однак однією з головних переваг "зірки" є її висока продуктивність.

Незважаючи на всі переваги, у такої комп'ютерної мережі також є свої недоліки. Наприклад, якщо центральний комутаційний пристрій вийде з ладу, вся мережа припинить свою роботу. Крім того, існують обмеження щодо

кількості робочих станцій, які можна підключити, обмежена кількість портів на комутаційному пристрої. І, нарешті, вартість такої мережі може бути високою, оскільки потрібно провести достатньо багато кабелю для підключення кожного комп'ютера. (див. рис. 1.4.1).



Рисунок 1.4.1 - Топологія мережі – зірка

Топологія дерева (Tree PON) - це структура, в якій оптичний кабель має форму дерева, де один кабель виходить з центральної станції і розгалужується на кілька кабелів на кожному рівні. Ця конфігурація дозволяє підтримувати більше користувачів і ефективно використовувати оптичний кабель (див. рис. 1.4.2).

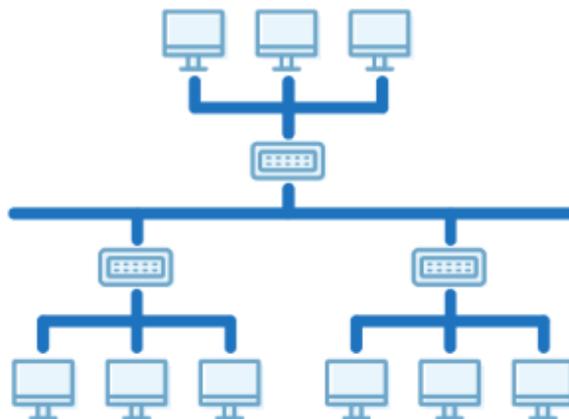


Рисунок 1.4.2 - Деревоподібна топологія

Топологія комп'ютерних мереж у вигляді "кільця" не має центральної структури. У цій конфігурації всі робочі станції і сервери об'єднані в замкнене кільце. Сигнал у такій системі рухається послідовно в одному напрямку по колу. Кожен комп'ютер виступає як ретранслятор, що дозволяє маркерному сигналу обходити коло і передавати його, поки він не дійде до призначення.

Ця форма топології має як переваги, так і недоліки. Основною перевагою є те, що мережа залишається стійкою навіть при великому навантаженні. Встановлення і налаштування такої мережі відбувається дуже легко і не вимагає значної кількості додаткового обладнання.

Однак, на відміну від топології "зірка", у "кільця" збій роботи будь-якого підключеного комп'ютера може призвести до збою всієї системи, і виявлення несправності може бути складним завданням. Налаштування такої мережі досить складне і вимагає певних навичок. Ще однією недоліком цієї топології є необхідність призупиняти всю мережу для підключення нового обладнання. (див. рис. 1.4.3).



Рисунок 1.4.3 - Топологія мережі – Кільце

У табл. 1.4.1 представлені переваги та недоліки кожної із наведених топологій мережі.

Таблиця 1.4.1 Переваги топологій мережі PON

Топологія	Переваги	Недоліки
Зірка	Проста установка, простота обслуговування, зменшення ризику витоку інформації, гнучкість управління	Обмежена масштабованість, висока вартість кабелювання, збільшення латентності мережі зі збільшенням кількості користувачів
Дерево	Можливість масштабування, ефективне використання кабелювання, зменшення латентності, підтримка QoS	Потрібно планування підключення користувачів, більш складна установка та обслуговування, відсутність резервування в разі відмови вузла
Кільце	Можливість масштабування, зменшення латентності, підтримка QoS, відсутність вузлів з однією точкою відмови	Обмежена масштабованість, складна установка та обслуговування, потреба відсутності вузлів з однією точкою відмови, можливість виникнення проблем з управлінням мережею

Отже, вибір топології мережі PON пов'язаний з конкретною ситуацією і вимогами користувачів, і він може бути здійснений з урахуванням переваг і недоліків кожної з цих топологій.

Для даного проекту було обрано топологію дерево. Цей вибір було зроблено на основі аналізу різних факторів, таких як масштаб підприємства, можливість розширення, керованість трафіку, забезпечення надійності, керування обладнанням, географічне розташування та вимоги до пропускну здатності.

РОЗДІЛ 2 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ МЕРЕЖІ PON

2.1 Живлення PON

Забезпечення функціональності широкосмугових пасивних оптичних мереж (PON) має схожість, а в багатьох випадках і більш простий підхід у порівнянні з вимогами до електроживлення звичайних гібридних волоконно-коаксіальних мереж (HFC). Що стосується електроживлення, оптичні активи в інфраструктурі PON можуть отримувати енергію від коаксіальної мережі, особливо коли сегмент станції HFC знаходиться в безпосередній близькості.

Однак варто зазначити, що обладнання PON, як правило, вимагає спеціального джерела безперебійного живлення (ДБЖ) і комплекту акумуляторів для забезпечення безперервного і безперебійного електроживлення.

Порівняльний аналіз динаміки енергоспоживання систем HFC і PON може пролити світло на суттєві відмінності в їхніх експлуатаційних вимогах.

Таблиця 2.1 – Відмінності в живленні HFC та PON

Енергоспоживання	HFC	PON
1	2	3
Устаткування з електроприводом	Оптичні вузли, підсилювачі, лінійні подовжувачі	OLT, EDFA та AN (в майбутньому)
Співвідношення ДБЖ до обладнання	Один до багатьох	Один до одного (зазвичай)
Напруга в обладнанні	90 В змінного струму	90 В змінного струму (ROLT-гвинти); 48 В постійного струму (ROLT-гвинти для кріплення на полиці)

1	2	3
Відстань від ДБЖ до обладнання	Від спільного розташування до 300 метрів за допомогою коаксіального кабелю.	Спільне розташування (OLT можуть мати коаксіальне живлення в ситуаціях, коли поблизу знаходиться коаксіальний кабель HFC)
Загальна потужність	Конструкції мереж HFC часто використовують повну потужність ДБЖ. Типові широкосмугові ДБЖ потужністю від 1350 Вт до 1620 Вт	Для живлення одного OLT може вимагати ~140 Вт.
Захист електромереж	Обов'язково	Обов'язково
Час роботи резервного живлення	Від 4 до 72 годин (вимога СРУС щодо 72-годинного телекомунікаційного резервного копіювання є крайнім випадком. Резервне копіювання оператора зазвичай варіюється від двох до восьми годин).	Від 6 до 72 годин
Моніторинг стану ДБЖ	DOCSIS	Волокно

2.1.1 Порівняння живлення HFC проти PON

Звичайні гібридні волоконно-коаксіальні мережі (HFC) оснащені різними активними компонентами, такими як оптичні вузли, підсилювачі та лінійні подовжувачі. Ці компоненти покладаються на живлення від джерел безперебійного живлення (ДБЖ) через коаксіальну кабельну інфраструктуру. Кількість активних компонентів, які може підтримувати одне ДБЖ, залежить від комбінації факторів, включаючи загальне статичне навантаження обладнання та загальну довжину коаксіального кабелю, що з'єднує ці пристрої з живленням. Довші коаксіальні кабелі спричиняють більший опір контуру, що призводить до більших джоулевих втрат - термін, який означає втрати потужності через внутрішній опір коаксіальних кабелів, що в кінцевому підсумку перетворює електричну енергію в теплову.

Опір кабелю і потік електричного струму через коаксіальну мережу призводять до падіння напруги на кожному відрізку кабелю, що призводить до зниження напруги в кінці лінії. У більшості сценаріїв кабельні установки, швидше за все, досягнуть межі доступної потужності або зіткнуться з недостатньою кінцевою напругою, перш ніж вичерпають свою потужність для живлення додаткових пристроїв. Крім того, політика проектування мережі, встановлена операторами, часто диктує, що навантаження на системи ДБЖ повинно підтримуватися на рівні певного відсотка від номінальної потужності ДБЖ, що зазвичай коливається в межах 80%.

Для живлення обладнання пасивної оптичної мережі (PON) використовується дещо інший підхід, ніж для HFC. На рисунку 2.1.1.1 широкопasmова мережа продемонстровано три окремі сегменти PON, кожен з яких має свою унікальну схему живлення. Вивчення цих сегментів PON і відповідних варіантів живлення дасть цінну інформацію про їхні експлуатаційні відмінності.

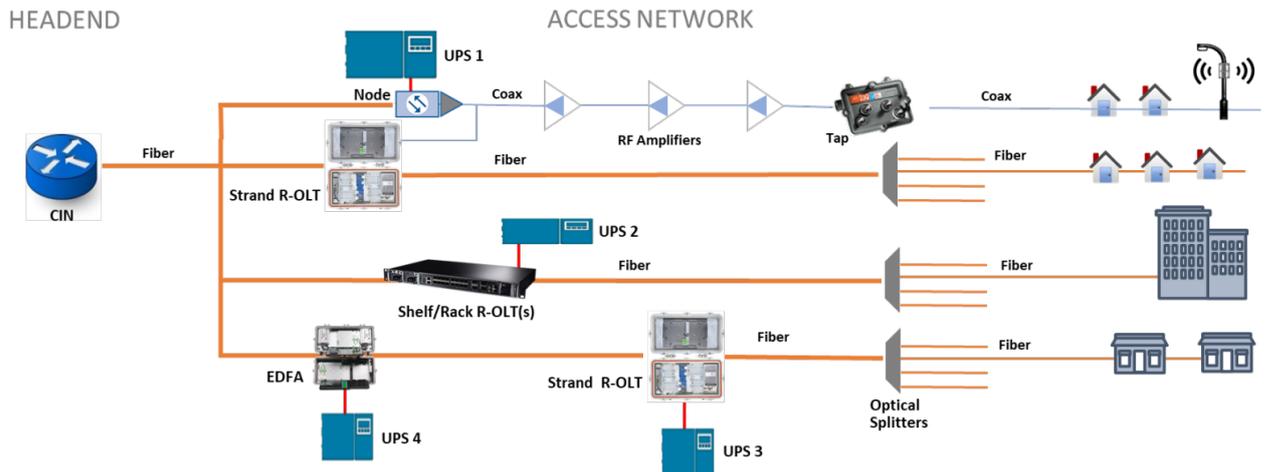


Рисунок 2.1.1.1 – Блок-схема живлення PON

Приклад PON 1

На схемі мережі наочно показано ДБЖ 1, який слугує джерелом живлення для різних компонентів, включаючи оптичний вузол, підсилювачі та R-OLT (термінал зворотної оптичної лінії). У цій конкретній конфігурації PON R-OLT стратегічно розташований у безпосередній близькості до вже заживленого сегмента коаксіального кабелю, що дозволяє йому отримувати живлення від цієї існуючої коаксіальної інфраструктури. Щоб спростити процес прийняття рішень, один з операторів рекомендує, що для R-OLT з коаксіальним живленням, якщо коаксіальне з'єднання з живленням доступне в радіусі кілометра від місця розташування R-OLT, він вирішить подовжити коаксіальний кабель, щоб забезпечити живлення R-OLT. Однак, якщо відстань перевищує цей діапазон, економічно вигідніше встановити спеціальну систему безперебійного живлення (ДБЖ) для забезпечення необхідної потужності для обладнання PON.

Для контексту, типовий R-OLT, зазвичай потребує приблизно 140 Вт потужності для ефективного функціонування. Крім того, ці R-OLT можуть бути налаштовані на підтримку до 512 клієнтів FTTH (Fiber to the X), використовуючи оптичні розгалужувачі. На рис. 2.1.1.2 показано стандартну широкосмугову систему ДБЖ, яка використовується для живлення вузлів і R-OLT. Ці системи ДБЖ, як правило, призначені для монтажу на стовпі або на

землі і складаються з корпусу, в якому розміщений блок ДБЖ разом з одним або кількома блоками з трьох 12-вольтових батарей.

У тих випадках, коли ДБЖ 1 має достатню потужність і запас заряду батарей, щоб впоратися з додатковим навантаженням, яке створює R-OLT, немає необхідності в додаткових міркуваннях щодо електроживлення.



Рисунок 2.1.1.2 - Типовий широкосмуговий ДБЖ

Приклад PON 2

У регіонах з високою щільністю населення при проектуванні архітектури пасивної оптичної мережі (PON) часто виникає потреба в забезпеченні підключення значної кількості клієнтів через одиночний оптоволоконний розподільчий пункт. Щоб задовольнити цю вимогу, один з життєздатних підходів передбачає розгортання зовнішніх шаф, розташованих уздовж узбіч, в яких розміщується кілька терміналів зворотної оптичної лінії (R-OLT). На нашій схемі мережі ДБЖ 2 втілює цю конкретну установку, символізуючи сценарій, в якому використовуються ці корпуси на узбіччі. Ілюстративний приклад такої шафи показано на рисунку 2.1.1.3.

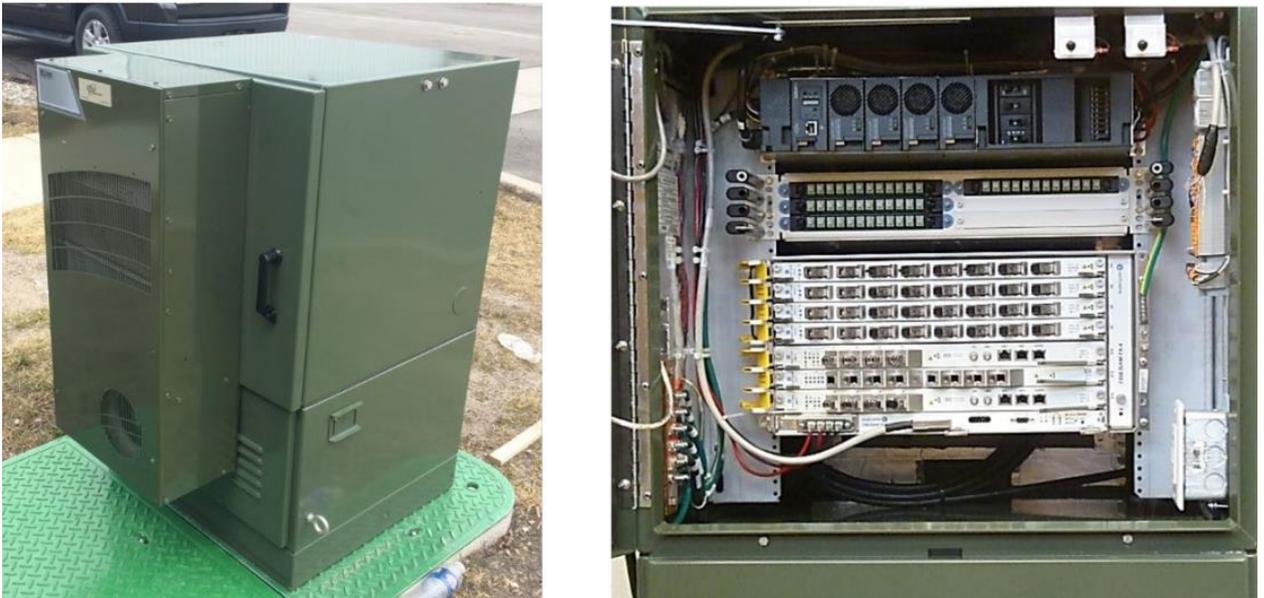


Рисунок 2.1.1.3 - Високомістна PON-шафа з високою ємністю

У цьому сценарії впровадження декількох поличних або стійкових реверсивних оптичних лінійних терміналів (R-OLT) пропонує значно збільшену пропускну здатність для обслуговування більшої абонентської бази в порівнянні з нашим попереднім прикладом R-OLT, що монтується в одну нитку. Ці спеціалізовані шафи призначені для розміщення не тільки R-OLT, але й необхідних компонентів, включаючи волоконно-оптичну розподільчу інфраструктуру та резервні джерела живлення.

Поличні оптичні лінійні термінали (OLT) зазвичай працюють від джерела живлення 48 В постійного струму. У середині шафи знаходиться випрямляч на 48 В постійного струму, часто налаштований з резервуванням N+1, а також комплект батарей. Сама шафа безпосередньо підключена до електромережі для забезпечення безперервної та надійної роботи.

Шафові OLT-системи пропонують гнучкість, що дозволяє адаптувати їх до конкретних застосувань і вимог. Існує можливість створити стандартизовану шафу для обслуговування до 8 000 абонентів. Ця шафа оснащується кількома OLT, оптоволоконними розподільчими панелями та системою випрямлячів на 48 В постійного струму, а також акумуляторами,

призначеними для забезпечення до шести годин резервного живлення в разі перебоїв в електромережі.

Приклад PON 3

Третій сценарій PON, проілюстрований на рисунку 2.1.1.1, передбачає встановлення R-OLT, який отримує живлення від ДБЖ 3. Ця конфігурація відрізняється від прикладу з ДБЖ 1, оскільки поблизу немає доступного коаксіального кабелю для живлення R-OLT. У цій конкретній конфігурації виділене джерело безперебійного живлення (ДБЖ) призначене виключно для одного R-OLT або, в деяких випадках, для декількох R-OLT, розташованих в одній і тій же місцевості. На рисунку 2.1.1.4 показано стандартний широкосмуговий ДБЖ, розмір якого був підібраний відповідно до конкретних вимог застосування.



Рисунок 2.1.1.4 - Малий широкосмуговий ДБЖ для спеціального живлення R-OLT

2.1.2 Вибір розмірів ДБЖ для малих навантажень

Практика використання коаксіальних кабелів як для передачі електроенергії, так і для передачі радіосигналу є давньою традицією в індустрії кабельного телебачення (CATV), що триває вже кілька десятиліть. Цей фундаментальний підхід залишається відносно послідовним протягом багатьох років. Основним елементом цієї інфраструктури є одноступенева система безперебійного живлення (ДБЖ) з ферорезонансним трансформатором. Ця конфігурація є дуже надійною, пропонуючи виняткові можливості захисту активних компонентів мережі від потенційних небезпек, що походять із зовнішньої електромережі. Подальше вивчення ферорезонансної технології буде розглянуто в наступному розділі.

Важливою характеристикою ферорезонансного ДБЖ є його оптимальна ефективність при максимальному навантаженні. Традиційні широкосмугові ДБЖ зазвичай мають номінальну потужність від 1350 до 1620 Вт, що відповідає приблизно 15-18 амперам при напрузі 90 В, виходячи з простого застосування закону Ома: сила струму дорівнює потужності, поділеній на напругу (для спрощення ми на мить проігноруємо коефіцієнт потужності). У нашому прикладі зі сценарієм PON 3, як показано на рисунку 2.1.1.1, R-OLT потребував близько 140 Вт потужності, що еквівалентно приблизно 1,5 амперам при напрузі 90 вольт. На рисунку 2.1.2.1 показано показники ефективності для кількох порівнянних 15-амперних ферорезонансних моделей ДБЖ.

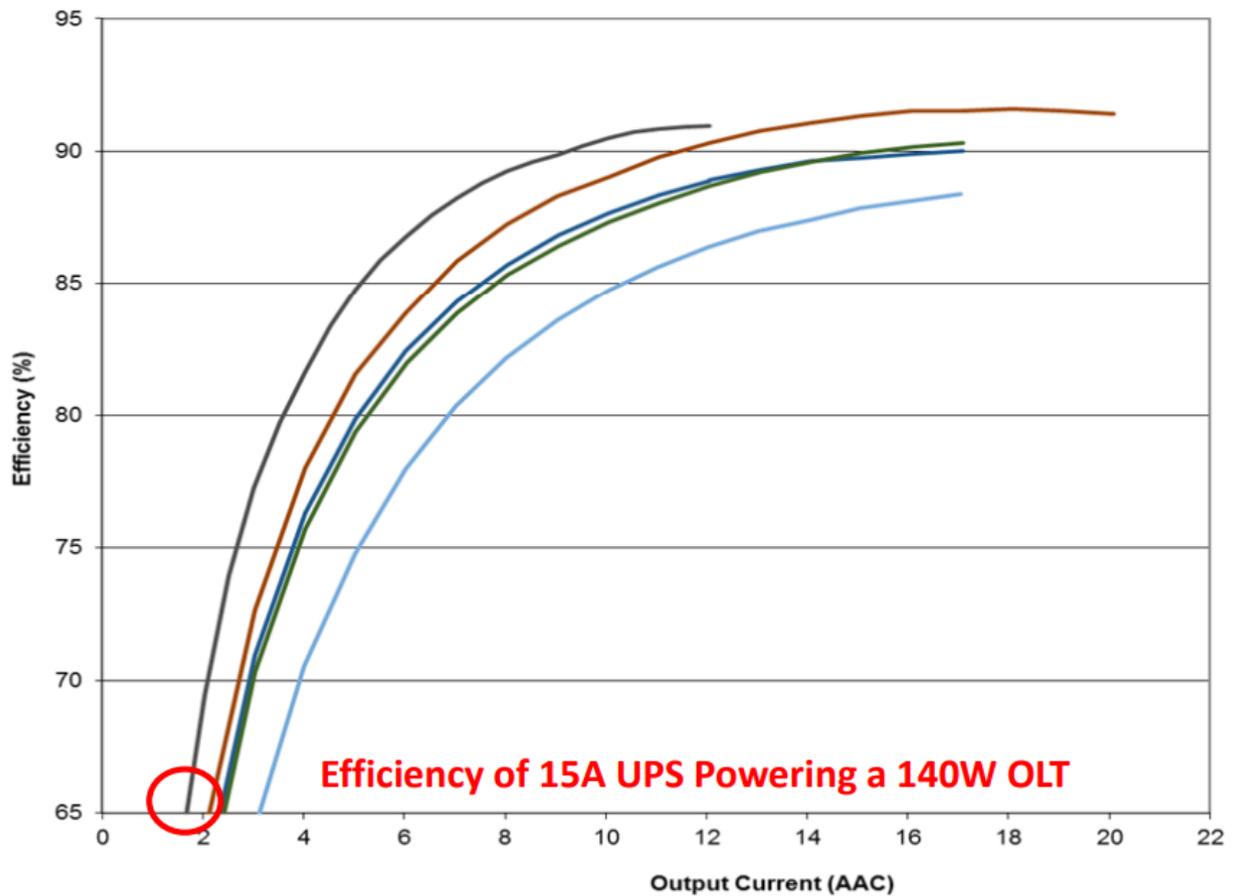


Рисунок 2.1.2.1 - Графік ефективності ферорезонансного ДБЖ на 15 ампер

Коли ДБЖ на 15 ампер (15 А) використовується лише для живлення одного R-OLT, споживаючи лише 1,5 ампера (1,5 А), ефективність системи ДБЖ значно знижується і становить менше 65%, як показано на рисунку 2.1.2.1. Таке зниження ефективності призводить до того, що енергія перетворюється на тепло у ферорезонансному трансформаторі, що призводить до подвійних витрат. По-перше, це призводить до збільшення витрат на електроенергію через марнотратство енергії (спожиті кВт/год), як при стандартному живленні від мережі, так і під час резервного живлення від акумулятора, ефективно витрачаючи енергію акумулятора і зменшуючи доступну тривалість резервного живлення.

Щоб вирішити цю проблему, необхідно вибрати ДБЖ меншої потужності, пристосовану до специфічних вимог до потужності невеликих

навантажень. Ферорезонансні ДБЖ доступні з різними номінальними характеристиками, включаючи ті, що розраховані на навантаження до 5 ампер і навіть менше. Використання ДБЖ меншого розміру має кілька переваг:

1. Спрощена конфігурація батарей: Менші широкосмугові ДБЖ потребують однієї 12-вольтової батареї, на відміну від більшої 36-вольтової системи, що складається з трьох 12-вольтових батарей.

2. Компактна конструкція: Менший блок ДБЖ легший і може бути розміщений у більш компактному корпусі, спеціально призначеному для розміщення ДБЖ та однієї батареї.

3. Економічна ефективність: Загальна вартість системи зменшується завдяки меншому розміру та спрощеній конфігурації батарей.

Доступний час роботи від резервного джерела під час перебоїв в електропостачанні може значно відрізнятись залежно від типу та стану батарей, що використовуються в системі ДБЖ. Наприклад, якщо в ДБЖ R-OLT використовується одна високоякісна батарея TRPL (тонкоплівковий чистий свинець) типорозміру 31, спеціально розроблена для зовнішніх широкосмугових систем, система ДБЖ здатна забезпечити понад шість годин резервної роботи для R-OLT у разі відключення електроенергії від мережі [9].

2.1.3 Моніторинг стану ДБЖ для програм живлення R- OLT.

Моніторинг широкосмугових систем ДБЖ пропонує безліч переваг, головною з яких є оновлення стану в режимі реального часу для операторів. Ця функція особливо важлива під час тривалих відключень електроенергії, оскільки надає операторам завчасні попередження, що дає їм достатньо часу для вжиття превентивних заходів до того, як відбудеться розрядка батареї, що в іншому випадку призведе до перебоїв у наданні послуг клієнтам. Крім того, моніторинг ДБЖ слугує цінним інструментом для попередження операторів про проблеми з обладнанням, пропонуючи сповіщення, які варіюються від

вимог негайної уваги до питань, які можна вирішити під час планових візитів для технічного обслуговування.

У звичайних широкосмугових системах ДБЖ спеціальний DOCSIS-модем, відомий як транспондер, спеціально розроблений для полегшення обміну даними про стан між ДБЖ і програмним забезпеченням для моніторингу. Практика моніторингу ДБЖ через DOCSIS використовується вже понад два десятиліття, і оператори розробили чітко визначені процеси встановлення, налаштування та експлуатації DOCSIS-модемів у контексті моніторингу ДБЖ за межами підприємства (OSP).

Однак у ситуаціях, коли PON не мають доступу до технології DOCSIS, необхідним стає альтернативний підхід до моніторингу ДБЖ. Щоб задовольнити цю потребу, сучасні широкосмугові системи ДБЖ оснащені інтерфейсом малого форм-фактора (SFP). SFP - це стандартизований інтерфейс, сумісний зі змінними оптичними приймально-передавальними модулями різних виробників, як показано на прикладі типового змінного модуля SFP, зображеного на малюнку 2.1.3.1.



Рисунок 2.1.3.1 - Оптичний SFP-сумісний модуль

Щоб уможливити моніторинг стану системи ДБЖ, яка відповідає за живлення R-OLT, у гніздо SFP ДБЖ встановлюється спеціальний модуль малого форм-фактора (SFP), що вставляється в роз'єм SFP. Цей SFP-модуль виконує роль оптичного мережевого пристрою (ONU) або оптичного мережевого терміналу (ONT), що відповідає конкретному оптичному протоколу, який використовується в R-OLT.

Важливо відзначити, що ONT і ONU по суті відносяться до однієї і тієї ж концепції, яка є обладнанням кінцевого користувача в оптоволоконній лінії зв'язку, що зазвичай асоціюється з мережами FTTX (Fiber to the X). Різниця виникає через термінологію, що використовується різними організаціями зі стандартизації. "ONT" - це термін, визнаний ІТУ-Т, тоді як "ONU" - це номенклатура, прийнята ІЕЕЕ. Вибір між номенклатурою ONT та ONU залежить від конфігурації R-OLT:

- "ONT" використовується, коли R-OLT налаштований на протоколи ІТУ-Т, включаючи GPON і XGS-PON.

- "ONU" використовується, коли R-OLT працює в рамках протоколів ІЕЕЕ, таких як EPON і 10G-EPON.

Для простоти ми будемо послідовно використовувати термін "ONU", щоб охопити як ONU, так і ONT. Підключається SFP ONU потім забезпечується і управляється R-OLT так само, як і домашній ONU. Ця конфігурація візуально представлена на малюнку 2.1.3.2.

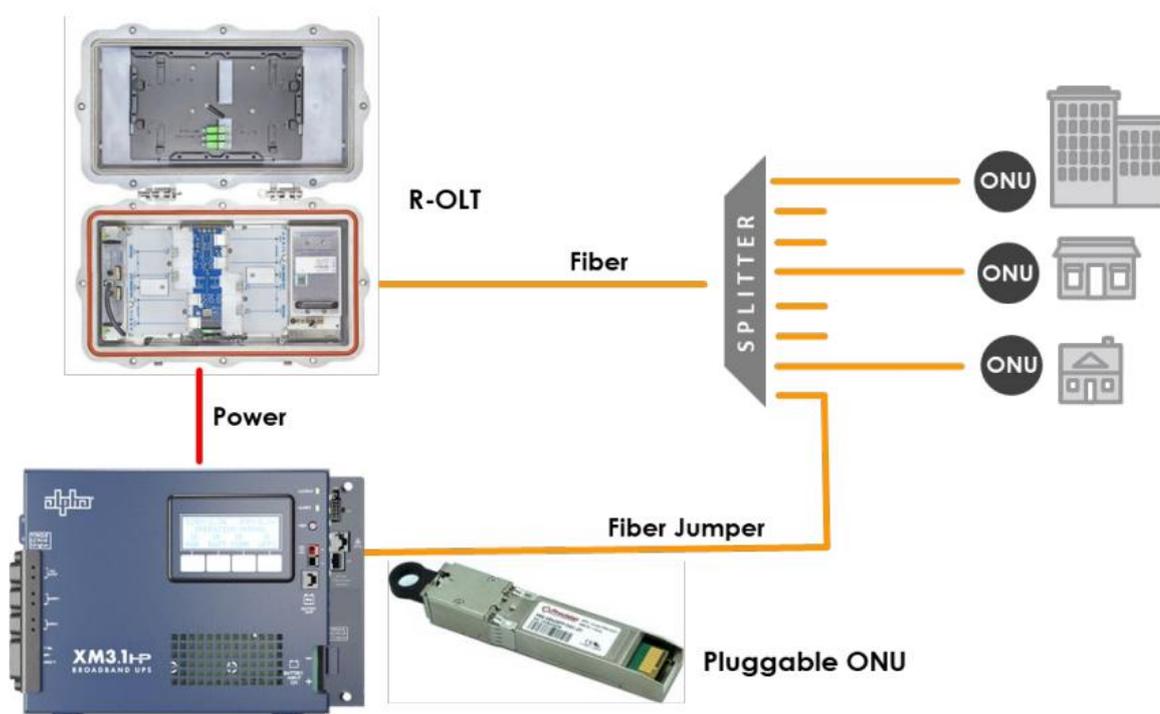


Рисунок 2.1.3.2 - Підключення ONU для моніторингу ДБЖ

2.1.4 Моніторинг стану ДБЖ для програм живлення EDFA

У попередньому розділі ми встановили схожість між живленням волоконно-оптичних підсилювачів, легованих ербієм (EDFA), і живленням реверсивних оптичних лінійних терміналів (R-OLT). Однак, коли справа доходить до моніторингу стану ДБЖ, відповідального за живлення EDFA, процес значно менш простий у порівнянні з моніторингом ДБЖ для системи R-OLT. Рішення для моніторингу, яке спирається на підключуваний оптичний мережевий блок (ONU), не є життєздатним без відповідного R-OLT в безпосередній близькості. Коли ми маємо справу із завданням живлення EDFA в деякій середній точці прольоту оптоволоконної лінії, дуже ймовірно, що поблизу не буде R-OLT або коаксіальної інфраструктури, яка б полегшила реалізацію звичних методів моніторингу стану.

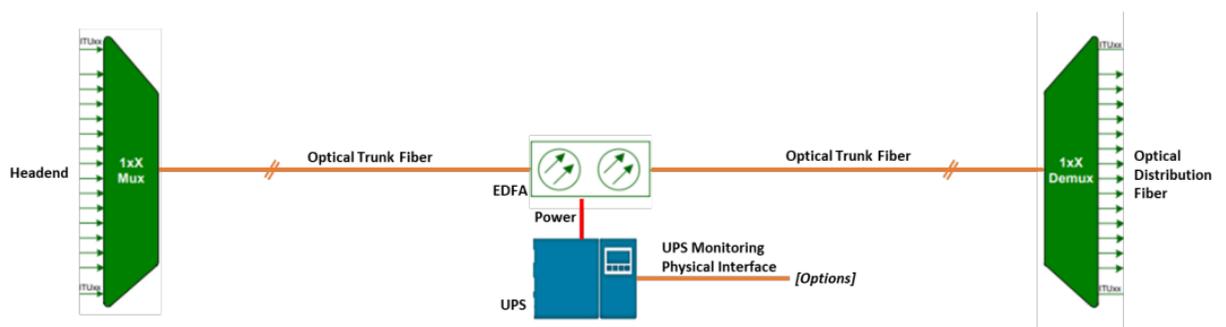


Рисунок 2.1.4.1 – Схема моніторингу ДБЖ EDFA

Оператори намагаються вирішити цю проблему за допомогою різних стратегій, але, на жаль, універсального рішення не існує. Було розглянуто кілька підходів, які включають в себе наступні:

1. Виділені довжини хвиль DWDM або CWDM: Один з підходів передбачає виділення певних довжин хвиль DWDM або CWDM (на основі оптоволоконного трафіку) для передачі та прийому трафіку ДБЖ. Це передбачає встановлення в ДБЖ модуля DWDM/CWDM малого форм-фактора (SFP) і встановлення необхідного демультіплексора (demux), фільтрів і механізмів зрощування поблизу волоконно-оптичного підсилювача,

легованого ербієм (EDFA), і ДБЖ, щоб полегшити фізичне з'єднання волоконних перемичок.

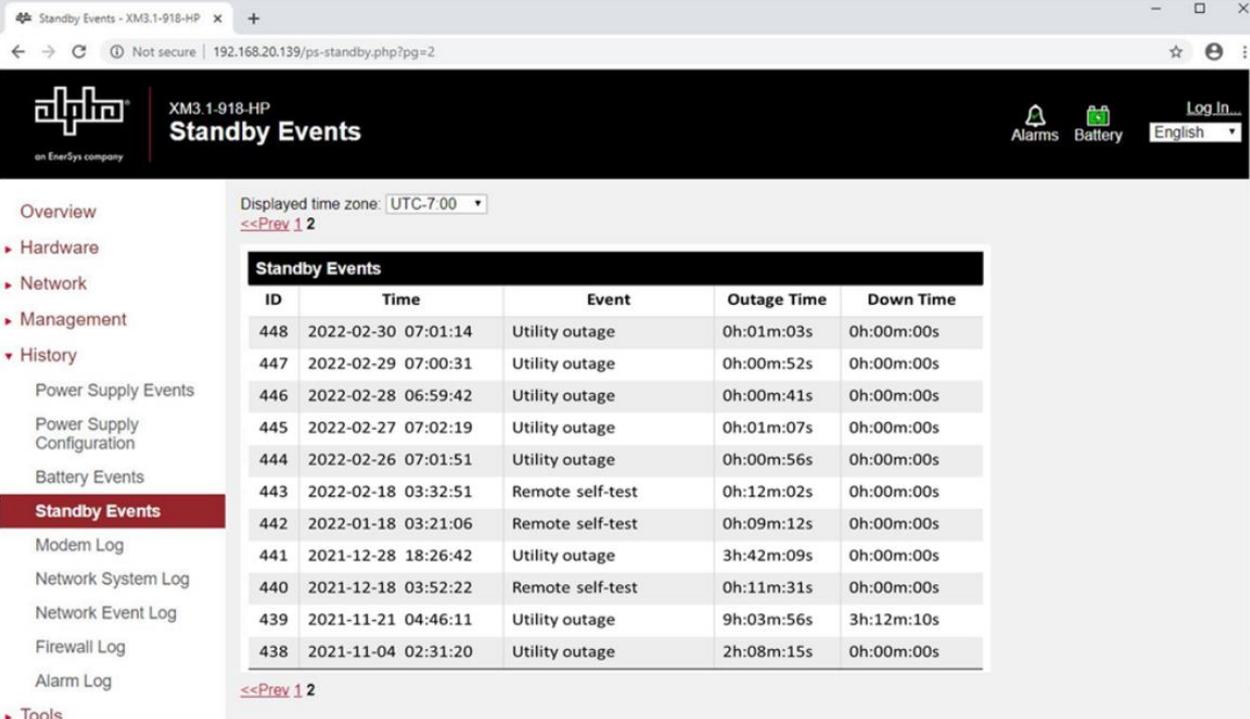
2. Виділене темне волокно: Інший метод передбачає виділення цілого волокна або пари волокон для трафіку ДБЖ. Поблизу EDFA та ДБЖ встановлюється лоток для з'єднання, комутаційна панель або відповідний механізм для підключення до оптоволокна. У ДБЖ використовується спеціальний SFP, який використовує потрібний оптичний формат.

3. Стільниковий модем передачі даних: Для позасмугового інтерфейсу зв'язку в систему ДБЖ можна інтегрувати стільниковий модем. В ДБЖ встановлюється мідний Ethernet SFP, який встановлює з'єднання з стільниковим модемом через кабель Ethernet RJ-45 (мідний). Антена стільникового зв'язку встановлюється зовні на корпусі ДБЖ із застосуванням атмосферостійких технологій. Живлення модему здійснюється через перетворювач живлення, підключений до виходу ДБЖ, що забезпечує модему необхідну напругу.

4. Власний порт керування EDFA: Деякі виробники EDFA пропонують власний інтерфейс для конфігурування та керування окремими EDFA в мережі оператора. Дані від кожного EDFA проходять через оптоволокно і направляються назад до головної станції, де вони стають доступними на центральній консолі управління. Якщо EDFA підтримує фізичний порт обслуговування для доступу до цього інтерфейсу керування, до цього порту можна підключити оптоволоконну перемичку від ДБЖ, створивши канал зв'язку від ДБЖ до головної станції. Таке налаштування дає змогу спрямовувати трафік ДБЖ до системи керування ДБЖ.

5. Відсутність моніторингу ДБЖ: У випадках, коли жоден з існуючих варіантів моніторингу ДБЖ EDFA не є бажаним, оператори можуть відмовитися від моніторингу систем ДБЖ. Це рішення може бути навмисним або результатом відкладеного вибору через відсутність ідеального варіанту моніторингу. Незалежно від цього, результат залишається незмінним. Операторам не вистачатиме завчасних сповіщень про перебої в

електропостачанні, які можуть перевищити час роботи системи ДБЖ. Цей ризик можна зменшити, встановивши додаткові батареї для збільшення часу роботи та проводячи регулярне технічне обслуговування, щоб підвищити ймовірність того, що система ДБЖ буде працювати належним чином під час перебоїв в електропостачанні. Ще одним цінним інструментом, особливо для систем ДБЖ без моніторингу, є історія подій, яка зазвичай зберігається в енергонезалежній пам'яті ДБЖ, що може надати критично важливу інформацію в таких ситуаціях. На рисунку 2.1.4.2 показано часовий журнал типового широкопasmового ДБЖ.



Standby Events - XM3.1-918-HP

Not secure | 192.168.20.139/ps-standby.php?pg=2

XM3.1-918-HP
Standby Events

Alarms Battery Log In English

Overview

- Hardware
- Network
- Management
- History
 - Power Supply Events
 - Power Supply Configuration
 - Battery Events
 - Standby Events**
 - Modem Log
 - Network System Log
 - Network Event Log
 - Firewall Log
 - Alarm Log
- Tools

Displayed time zone: UTC-7:00

<< Prev 1 2

ID	Time	Event	Outage Time	Down Time
448	2022-02-30 07:01:14	Utility outage	0h:01m:03s	0h:00m:00s
447	2022-02-29 07:00:31	Utility outage	0h:00m:52s	0h:00m:00s
446	2022-02-28 06:59:42	Utility outage	0h:00m:41s	0h:00m:00s
445	2022-02-27 07:02:19	Utility outage	0h:01m:07s	0h:00m:00s
444	2022-02-26 07:01:51	Utility outage	0h:00m:56s	0h:00m:00s
443	2022-02-18 03:32:51	Remote self-test	0h:12m:02s	0h:00m:00s
442	2022-01-18 03:21:06	Remote self-test	0h:09m:12s	0h:00m:00s
441	2021-12-28 18:26:42	Utility outage	3h:42m:09s	0h:00m:00s
440	2021-12-18 03:52:22	Remote self-test	0h:11m:31s	0h:00m:00s
439	2021-11-21 04:46:11	Utility outage	9h:03m:56s	3h:12m:10s
438	2021-11-04 02:31:20	Utility outage	2h:08m:15s	0h:00m:00s

<< Prev 1 2

Рисунок 2.1.4.2 - Журнал подій ДБЖ

Зазвичай такі часові дані про енергоспоживання легко доступні через систему моніторингу ДБЖ. Однак у випадку з системами ДБЖ без моніторингу такий журнал доступний лише на місці і може слугувати основним джерелом інформації про події в електромережі, пов'язані з ДБЖ, на якому встановлено ДБЖ. Таким чином, оператори повинні встановити процедуру планових візитів на об'єкт для збору та вивчення цих подій,

пов'язаних з електропостачанням. Щоб проілюструвати важливість цих даних, давайте заглибимося в огляд записів журналу з рисунку 2.1.4.2, які детально описані в таблиці 2.1.4.1.

Таблиця 2.1.4.1 - Огляд журналу подій ДБЖ

ID	Опис події	Наслідки
444-448	Перебої в електропостачанні	Короткочасні перебої в електропостачанні відбуваються приблизно в один і той самий час кожного дня. Це може свідчити про зовнішні події, що впливають на інженерну мережу.
443, 442, 440	Дистанційна самоперевірка	Цикли тестування ДБЖ ініціюються системою моніторингу ДБЖ щомісяця приблизно в один і той самий час доби.
441	Перебої в електропостачанні	Відключення електроенергії тривало 3 години 42 хвилини. ДБЖ має достатній рівень заряду акумулятора ємності акумулятора, щоб

		підтримувати мережу під час цієї події.
439	Перебої в електропостачанні	Відключення електроенергії тривало 9 годин 03 хвилини. ДБЖ живив мережу протягом приблизно шість годин, перш ніж розряджені батареї змусили вимкнути навантаження.
438	Перебої в електропостачанні	Відключення електроенергії тривало 2 години 08 хвилин. ДБЖ має достатній рівень заряду акумулятора, щоб підтримувати мережу під час цієї події.

У разі віддаленого моніторингу ДБЖ можна було б попередити відключення мережі та подальший збій у наданні послуг (як показано в події № 439), таким чином запобігаючи подібним випадкам. Крім того, повторювані, короткочасні та незрозумілі відключення (події № 444-448) були б оперативно виявлені, що стало б приводом для подальшого розслідування. Аналіз одного з таких періодичних, але нетривалих відключень показав, що щоденні процедури запуску на сусідньому заводі були джерелом перехідних процесів в електромережі, які призвели до переходу ДБЖ в режим очікування.

Варто зазначити, що в нашому переліку варіантів моніторингу ДБЖ EDFA не було чітко вказано на важливий крок у цьому процесі: Дані ДБЖ повинні бути отримані на головній станції, перетворені в IP-трафік через Ethernet, а потім направлені в програмне забезпечення для моніторингу ДБЖ оператора. Цей крок є важливим, незалежно від обраного методу передачі даних.

Зрештою, оператори повинні ретельно оцінювати доцільність і придатність впровадження будь-якого з цих варіантів моніторингу.

2.1.5 Небезпека підключення електроживлення поза приміщенням.

Оператори мереж мають глибоке розуміння величезних викликів навколишнього середовища, з якими доводиться стикатися обладнанню, встановленому на відкритому повітрі. Екстремальні перепади температур, вітер, дощ, сніг та ожеледь можуть завдати шкоди обладнанню, яке не пристосоване до таких умов. Крім того, електромережа містить безліч потенційних небезпек, які можуть вивести з ладу навіть найнадійніше обладнання. Широкопasmові системи безперебійного живлення (ДБЖ) отримують живлення безпосередньо від зовнішньої електромережі, що обумовлює необхідність їх стійкості до безлічі аномалій в електромережі, в тому числі:

1. Переривання: Визначається як повна втрата напруги протягом тридцяти (30) циклів або більше.
2. Перехідні процеси: Це тимчасові, швидкі коливання вимірюваної величини загальної потужності.
3. Сплески: Рівні напруги, що перевищують 110% від нормального діапазону.
4. Стрибки: Раптові, різкі піки напруги, які можуть сягати тисяч вольт.
5. Провисання: Зниження напруги, яке перевищує допустимі порогови принаймні на один цикл.

6. Провали напруги: Навмисне або ненавмисне зниження напруги, що триває протягом тривалого періоду.

За понад чотири десятиліття широкосмугові ДБЖ зарекомендували себе як надійне джерело живлення мережі, що працює в найрізноманітніших складних умовах. Хоча ці ДБЖ природним чином еволюціонували протягом багатьох років, один невід'ємний компонент, ферорезонансний трансформатор, залишався практично незмінним протягом усього цього періоду.

2.1.6 Ферорезонансний огляд.

Мережі широкосмугового зв'язку поклалися на ферорезонансні (феро) системи безперебійного живлення (ДБЖ) з моменту зародження кабельного телебачення (CATV). На рисунку 2.1.6.1 показано схему ферорезонансного трансформатора ДБЖ.

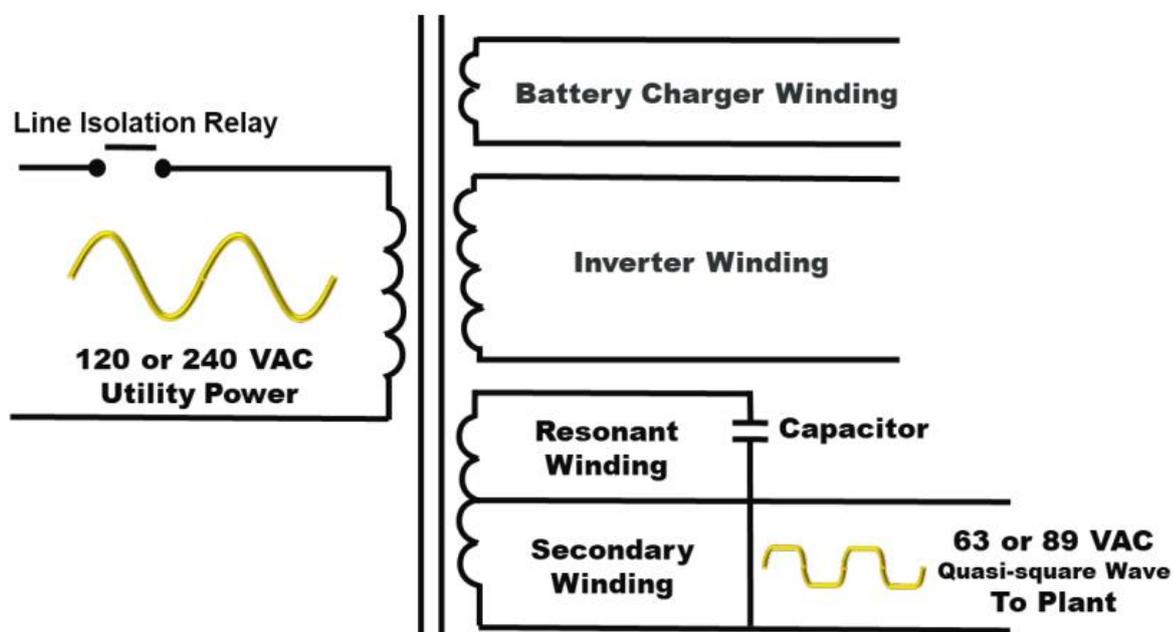


Рисунок 2.1.6.1 – Схема ферорезонансного трансформатора ДБЖ

Щоб зрозуміти, чому феротрансформатор добре підходить для зовнішнього електропостачання і чому він залишився відносно незмінним, незважаючи на технологічний прогрес, необхідно заглибитися в деякі фундаментальні принципи роботи трансформатора.

Трансформатори, як феронікелеві, так і більш традиційного лінійного типу, складаються з двох основних компонентів: обмоток і сердечників. Обмотки, зазвичай виготовлені з мідного дроту, намотуються на сердечник, часто зі сталі. Енергія передається за допомогою магнітної індукції від одного набору обмоток до іншого шляхом зміни магнітного потоку. У лінійних трансформаторах вихідна напруга визначається комбінацією вхідної напруги і співвідношенням первинних і вторинних обмоток.

На відміну від них, феротрансформатор використовує нелінійні магнітні властивості та резонансний контур, щоб забезпечити стабільну вихідну напругу в широкому діапазоні вхідних напруг. Під час кожного циклу змінного струму енергія накопичується в резонансному контурі, який являє собою індуктивно-ємнісний "контур бака", і згодом споживається навантаженням, підключеним до інших обмоток. Контур працює в стані магнітного насичення, в результаті чого вихідна форма сигналу виглядає квадратною або трапецієподібною, яку часто називають квазіквдратною хвилею (QSW), а не більш звичною синусоїдальною формою сигналу, яку створюють лінійні трансформатори. Форма сигналу QSW забезпечує більшу кількість доступної енергії порівняно з синусоїдальною формою, як показано на рисунку 2.1.6.2.

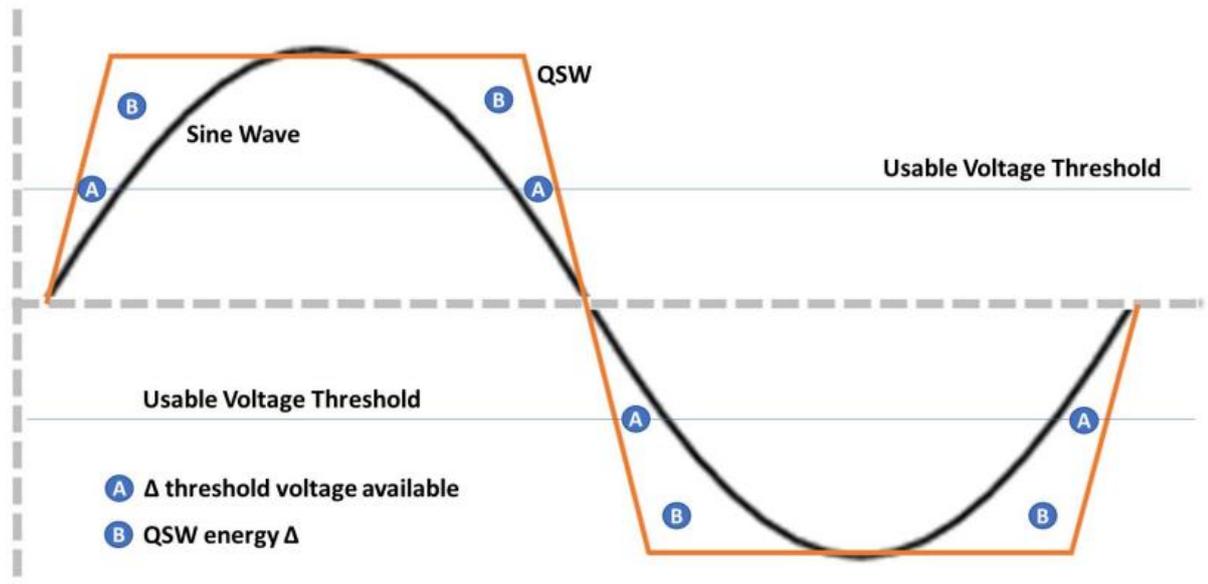


Рисунок 2.1.6.2 - Енергія синусоїди проти енергії квазіквдратної хвилі

Час наростання напруги квазіквдратної хвилі (QSW) за цикл перевищує час наростання лінійної синусоїди, про що свідчить крутіший нахил кривої dV/dt . На практиці це означає, що протягом кожного циклу змінного струму 60 Гц вихідна потужність QSW утримує більший відсоток енергії протягом більш тривалого часу порівняно з синусоїдальною хвилею, за умови, що коефіцієнти потужності еквівалентні. Крім того, час наростання QSW забезпечує більш тривалий період вище порогової напруги в межах кожного циклу. Порогова напруга - це мінімальна напруга, необхідна для правильної роботи обладнання, що живиться.

Наприклад, розглянемо радіочастотний підсилювач, що живиться від феронікелевого ДБЖ. Під час кожного циклу змінного струму існує момент, коли вихідна напруга ДБЖ опускається нижче порогового значення, необхідного для роботи підсилювача. Завдяки синусоїдальній вихідній напрузі, яка зростає швидше, ніж синусоїдальна вихідна напруга лінійного ДБЖ, підсилювач може отримувати енергію від феромодуля протягом більш тривалого часу протягом кожного циклу змінного струму.

Окрім підвищеної вихідної енергії, ще однією важливою перевагою ферозондових ДБЖ є захист від короткого замикання на виході.

Феротрансформатор може витримувати тривалі періоди роботи при 150% від номінальної потужності. Як тільки цей поріг буде перевищено, баковий контур більше не зможе впоратися з надмірним попитом на енергію, що призведе до "згорання" феротрансформатора і зниження його вихідної напруги до нуля - явище, зображене на рисунку 2.1.6.3.

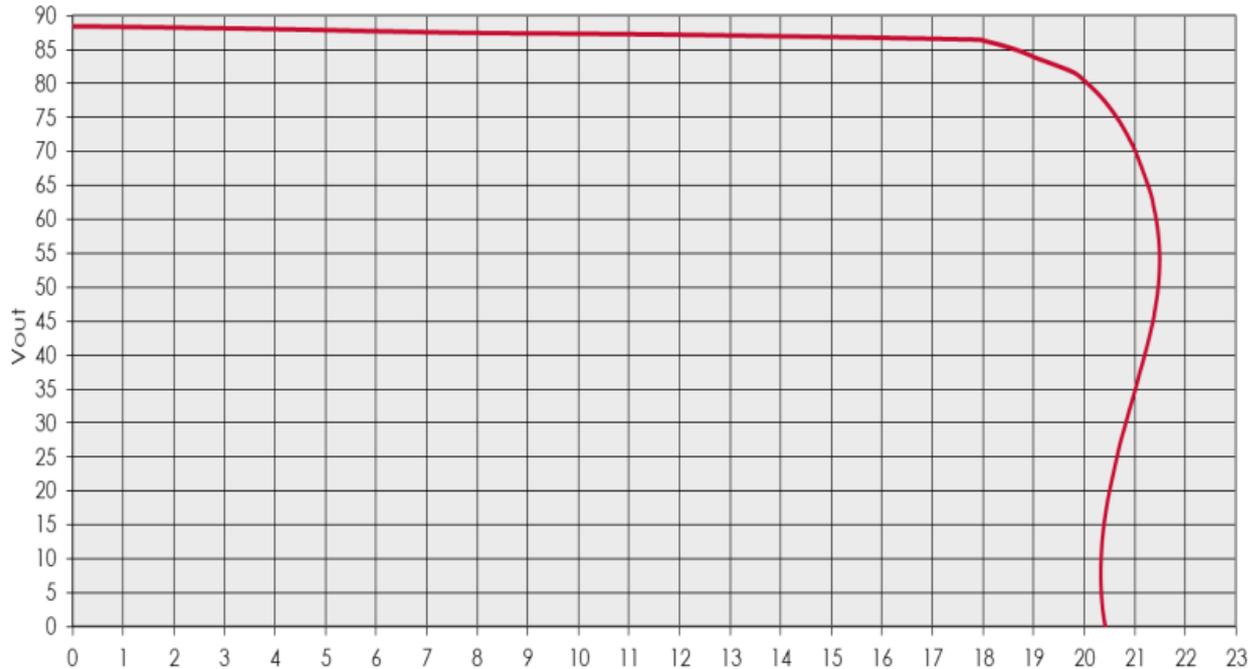


Рисунок 2.1.6.3 – Графік зворотнього захисту від перевантаження по струму на виході феросигналізатора

Мережі HFC включають активне обладнання, розташоване між сегментами волоконно-оптичного та коаксіального кабелю. Ці мережі схильні до потенційних несправностей, що виникають через пошкодження обладнання, знос, проблеми з коаксіальним кабелем, несправності термінальних компонентів і випадкові помилки технічного персоналу. Такі несправності можуть призвести до електричного короткого замикання, що спричиняє навантаження на ДБЖ, яке перевищує 150% від їхньої номінальної потужності. У відповідь на це ДБЖ переходять у захисний режим відключення, на мить знижуючи вихідну напругу. Після усунення несправності феронікелевий ДБЖ відновлює вихідну напругу, дозволяючи відновити нормальне живлення мережі. Важливо відзначити, що ні ДБЖ, ні

обладнання, яке живиться від мережі, не зазнає пошкоджень через цей режим відключення.

Ще однією помітною особливістю феросистем ДБЖ є їхня виняткова здатність фільтрувати перехідні стрибки напруги та шуми. Феротрансформатори слугують високоефективними бар'єрами проти шуму та перехідних процесів в електромережі, запобігаючи впливу цих перешкод на мережеве обладнання або його пошкодженню. Феротрансформатор може похвалитися вражаючим коефіцієнтом ізоляції 1000:1, а його конструкція робить його дуже стійким до електричних перенапруг. На практиці 1000-вольтовий стрибок напруги на вхідній обмотці перетворюється на різницю в 1 вольт на вихідній обмотці, забезпечуючи надійний захист від перенапруги для підключеного мережевого обладнання.

ДБЖ на основі феруму відрізняються одноступеневим перетворенням напруги. Напруга, отримана з вхідної обмотки, передається безпосередньо на вихідну обмотку і далі подається в мережу без необхідності додаткових ступенів перетворення енергії. Під час роботи в режимі резервного живлення від батареї реле відключає вхідну мережеву обмотку, а окрема інверторна обмотка активується інверторною схемою, використовуючи енергію батареї для вироблення енергії. Функція резервного живлення ДБЖ вступає в дію виключно під час перебоїв у подачі електроенергії від електромережі. У більшості випадків інвертор працює менше 1% від терміну служби ДБЖ. Це означає, що понад 99% часу ДБЖ забезпечує вихідну потужність, покладаючись виключно на феротрансформатор. Враховуючи, що жодні електронні компоненти не знаходяться в межах критичного шляху живлення, надійність ДБЖ на основі феротрансформаторів є винятковою.

Конструкційні матеріали феро, переважно мідь і сталь, роблять його стійким до збоїв, які зазвичай виникають лише внаслідок фізичного пошкодження або катастрофічних електричних явищ, таких як прямий удар блискавки.

2.2 Оптичний лінійний термінал OLT

OLT відіграє роль невидимого ланцюга, що сполучає споживачів та глобальний потік інформації. Цей пристрій, розташований в центральній точці мережі PON, взаємодіє з оптичними приймачами на стороні користувача (ONT) та іншими пристроями для забезпечення ефективного розподілу трафіку та керування мережею.

Однією з ключових функцій OLT є обробка великої кількості даних та їх передача на великі відстані з високою швидкістю та ефективністю. Це досягається завдяки використанню оптичного сигналу, який передається через волоконно-оптичний кабель, забезпечуючи високу пропускну здатність та стійкість до електромагнітних втрат.

Оптичний Лінійний Термінал також відзначається своєю здатністю керувати багатьма каналами одночасно, що робить його ідеальним рішенням для масштабуємих оптичних мереж. Висока пропускну здатність і масштабованість дозволяють OLT впоратися з ростом обсягів даних і вимогами користувачів.

Додатково, сучасні OLT відзначаються високою надійністю та можливістю встановлення запасних маршрутів для забезпечення безперервності зв'язку навіть у випадку виникнення непередбачених ситуацій. Це забезпечує стабільну та надійну роботу оптичної мережі в умовах зростаючих вимог до доступу до швидкісного Інтернету та інших послуг.

Оптичний Лінійний Термінал, як ключовий компонент оптичної мережі PON, відкриває двері до нового рівня швидкості та надійності у сфері зв'язку. Забезпечуючи високу пропускну здатність та ефективне управління трафіком, OLT стає невід'ємною ланкою в інфраструктурі сучасних оптичних мереж.

Оптичний лінійний термінал (OLT) GL5610-16P від GCOM спеціально розроблений для розгортання мереж GPON в різних умовах, включаючи міські та сільські райони, а також багатоквартирні будинки і приватні резиденції.

Компактна конструкція забезпечує легку установку в телекомунікаційних шафах або в місцях, що економлять місце в стійці.



Рисунок 2.2.1 – Термінал оптичної лінії GCOM OLT GPON GL5610-16P

Варто відзначити чудовий коефіцієнт розгалуження PON-дерева, що досягає вражаючого показника 1:128, що дозволяє підключити до 2048 абонентських пристроїв. Універсальність є ключовою особливістю, оскільки він легко взаємодіє з різноманітними ONT від різних виробників і може похвалитися підтримкою конфігурацій з резервним живленням.

Технологічні досягнення, вбудовані в GPON OLT-термінал GCOM, підвищують відмовостійкість, забезпечуючи надійну роботу навіть у складних умовах. Крім того, його сумісність поширюється на обладнання різних брендів, що сприяє безперешкодній інтеграції. Рішення посилено підтримкою протоколів маршрутизації, супроводжується офіційною гарантією та підтримкою виробника для додаткової впевненості.

Оптичний лінійний термінал GPON OLT, GCOM GL5610-16P, є передовим пристроєм, що забезпечує ефективне рішення для реалізації мереж доступу PON. Завдяки високій функціональності, надійності та бездоганній сумісності з різними пристроями, він є найкращим вибором для побудови мереж GPON [10].

Таблиця 2.2.1 - Характеристики GCOM OLT GPON GL5610-16P

Найменування характеристики	Значення
Кількість PON-портів	16
Мережеві інтерфейси	GPON – 16 10GE SFP+ -2 GE COMBO - 4
Сумарна ємність PON портів:	256 абонентів
Технологія	GPON
Живлення:	AC: вхід 90 ~ 264 В 47/63 Гц DC: вхід 36 В ~ 72 В
Безпека:	Anti-ARP-spoofing Anti-ARP-flooding IP Source Guard create IP+VLAN+MAC+Port binding Port Isolation MAC address binding to the port and MAC address filtering IEEE 802.1x and AAA/Radius authentication Support the control layer to prevent a variety of DOS attacks
Кількість портів Uplink	8
Порти	1 Гбіт/с, 10 Гбіт/с

OLT зазвичай встановлюються у спеціально відведеному приміщенні, відомому як технічна кімната або серверний центр. Це приміщення може бути розташоване в тій самій будівлі, яка обслуговує мережу FTTH GPON, або в сусідній окремій будівлі. Технічна кімната, як правило, обладнана спеціальними стійками для розміщення станційного обладнання, включаючи OLT. Крім того, тут розміщуються такі важливі компоненти, як комутаційні

панелі, джерела живлення, системи охолодження та інші необхідні елементи інфраструктури.

Стратегічне розміщення OLT в технічному приміщенні забезпечує зручний доступ для обслуговування та управління, а також захищає обладнання від потенційно шкідливих факторів навколишнього середовища.

2.3 Абонентський термінал ONT

Невід'ємним компонентом будь-якої PON-мережі є абонентський термінал (ONU). Для розрахунку цього проекту буде використано абонентський термінал BDCOM GP1702-1G, зображений на рисунку 2.3.1.



Рисунок 2.3.1 – Зовнішній вигляд абонентського терміналу BDCOM GP1702-1G

BDCOM GP1702-1G - це інтелектуальна ONU нового покоління для інтегрованих мультисервісних мереж широкопasmового доступу. Пристрій відповідає міжнародному стандарту ITU-T G.984/988 та промислового стандарту PRC GPON ONU у вимогах до технологій доступу та технічним вимогам China Telecom GPON CTC2.0 [11].

ONU виконує кілька ключових функцій, включаючи прийом і передачу оптичного сигналу, передачу даних, перетворення протоколів, управління послугами та безпеку.

Таблиця 2.2.1 - Характеристики BDCOM GP1702-1G

Найменування характеристики	Значення
Швидкість передачі даних, Гбіт/с	2,5 (нижній канал), 1,25 (верхній канал)
Коефіцієнт ділення	1:128
Радіус покриття мережі, км	20
Безпека	VLAN, STP, ізоляція портів, ACL, QoS, контроль ширококомовного шторму
Керування послугами	DBA, обмеження швидкості, QoS
OMCI	Стандартний OMCI ITU-T, приватний OMCI BDCOM
Відповідність стандартам	ITU-T G.984/988, галузевий стандарт GPON ONU Спільноти КНР, Технічні вимоги CTC2.0 China Telecom GPON
Оптична потужність, дБм	-28 (приймальний порт PON), 0,5-5 (вихідний порт PON)

2.4 SFP трансивер

SFP (Small Form-factor Pluggable) - це стандартний модуль для оптичного інтерфейсу, який можна використовувати для підключення OLT до ONU. SFP-модулі пропонують ряд переваг, включаючи:

- Зручність використання. SFP-модулі можна легко замінити, не розбираючи OLT або ONU.
- Зручність розгортання. SFP-модулі можна використовувати для підключення OLT до ONU різних виробників.
- Зручність масштабування. SFP-модулі можна використовувати для підключення OLT до ONU з різними характеристиками, наприклад, з різною пропускнуою здатністю або відстанню покриття.

Однак, SFP-модулі також мають ряд недоліків, включаючи:

- Вартість. SFP-модулі можуть бути дорожчими, ніж стандартні оптичні кабелі.
- Необхідність використання додаткового обладнання. Для використання SFP-модулів необхідно мати спеціальний роз'єм на OLT і ONU

Cisco GLC-T - це одномодовий SFP-модуль з роз'ємом SC/UPC. Він підтримує швидкість передачі даних до 1 Гбіт/с. Чутливість приймача становить менше -28 дБм, а потужність передавача - від 0,5 до 5 дБм.



Рисунок 2.4.1 – Зовнішній вигляд Cisco GLC-T

Трансивер Cisco GLC-TE підтримує режим " гарячої заміни (його можна підключати до мережного обладнання і відключати без перезавантаження цього обладнання) [12] .

Таким чином, Cisco GLC-T відповідає всім необхідним вимогам для підключення BDCOM GP1702-1G до GCOM OLT GPON GL5610-16P.

Ось детальний опис характеристик Cisco GLC-T:

- Стандарти: IEEE 802.3z, IEEE 802.3ab
- Швидкість передачі даних: 1 Гбіт/с
- Довжина хвилі: 1310 нм
- Роз'єм: SC/UPC
- Чутливість приймача: менше -28 дБм
- Потужність передавача: від 0,5 до 5 дБм

Cisco GLC-T - це хороший варіант для підключення BDCOM GP1702-1G до GCOM OLT GPON GL5610-16P. Він відповідає всім необхідним вимогам і є доступним за ціною.

2.5 Оптичний розгалужувач

Оптичний розгалужувач, також відомий як сплітер, є пасивним оптичним компонентом, який використовується для розгалуження оптичного сигналу на два або більше виходів. Оптичні розгалужувачі широко використовуються в різних оптичних мережах, таких як пасивні оптичні мережі (PON), мережі кабельного телебачення та мережі широкосмугового доступу. Оптичні розгалужувачі можуть бути спроектовані в співвідношенні від 1×2 до 1×128 (з урахуванням відповідного бюджету потужності) [13].

При побудові пасивної оптичної мережі було обрано оптичні розгалужувачі з урахуванням наступних факторів:

- Кількість розгалужень (Split Ratio): Це відношення між кількістю портів на основному вході та кількістю портів на виході. Наприклад, сплітер 1:32 означає, що один порт на вході розгалужується на 32 порти на виході. Важливо визначити оптимальне відношення відповідно до потреб мережі.
- Довжина хвилі. Оптичні розгалужувачі випускаються для різних довжин хвиль, включаючи 850 нм, 1310 нм і 1550 нм.
- Втрати розгалужувача визначають, скільки оптичної потужності втрачається під час розгалуження. Чим нижчі втрати, тим краще.
- Спектральні характеристики розгалужувача визначають, як він розподіляє оптичну потужність по різних довжинах хвиль.

При розрахунку даного проекту буде використано спліттер – PLC Splitter (Спліттер) 1x32, SC/UPC, 900 um, G657AFiberField та IPCOM COUPLER FBT 1X2 1310/1550-30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M, детальні характеристики вказані в табл. 2.5.1 та 2.5.2 відповідно.



Рисунок 2.5.1 - Зовнішній вигляд PLC Splitter 1x32, SC/UPC, 900 um,
G657A FiberField

Таблиця 2.5.1 - Характеристики PLC Splitter 1x32, SC/UPC, 900 um,
G657A FiberField

Найменування характеристики	Значення
Співвідношення розподілу:	1x32
Тип коннектора:	SC / UPC
Тип оптичного волокна:	Одномодовое (SM)
Стандарт оптичного волокна:	G.657.A
Втрати при зворотних відображеннях:	≥ 50
Спрямованість:	≥ 55
Максимальні втрати від поляризації (PDL):	≤ 1
Максимальні втрати уніформності:	≤ 1
Довжина хвиль:	1260 ~ 1650 нм
Внесені втрати (хв / макс):	max ≤ 13.8 dBm
Тип інтерфейсу:	SC
Температура роботи:	-40 ... + 85 ° C
Розміри:	1500 мм

Переваги:

- Низькі втрати: Це означає, що більша частина оптичної потужності, що надходить на вхідний порт, передається на вихідні порти.
- Широкий діапазон довжин хвиль: PLC Splitter 1x2, SC/UPC, 900 um, G657A FiberField працює в діапазоні довжин хвиль від 1260 нм до 1650 нм. Це означає, що він може використовуватися для передачі сигналів різних довжин хвиль, що використовується в сучасних PON-мережах.
- Зворотне відбиття: Зворотне відбиття становить ≥ 55 . Це означає, що мало оптичної потужності відбивається назад від розгалужувача, що покращує ефективність мережі.
- Максимальні втрати від поляризованості (PDL): Максимальні втрати від поляризованості (PDL) становлять 0,03. Це означає, що сигнали різних поляризацій розподіляються рівномірно між вихідними портами [14].

Цей PLC-розгалужувачі має переваги перед іншими типами розгалужувачів, такими як сварні розгалужувачі. PLC-розгалужувачі мають нижчі втрати, широкий діапазон довжин хвиль і менш схильні до зворотного відбиття. Це робить їх більш ефективними і надійними для використання в PON-мережах.

Для першого рівня каскаду було обрано розгалужувач типу FBT, через потребу ділити пропускну здатність оптичного волокна (див. рисунок 2.5.2). Це стане в нагоді, тому що кінцеві абоненти перебувають на різній відстані від точки поділу.

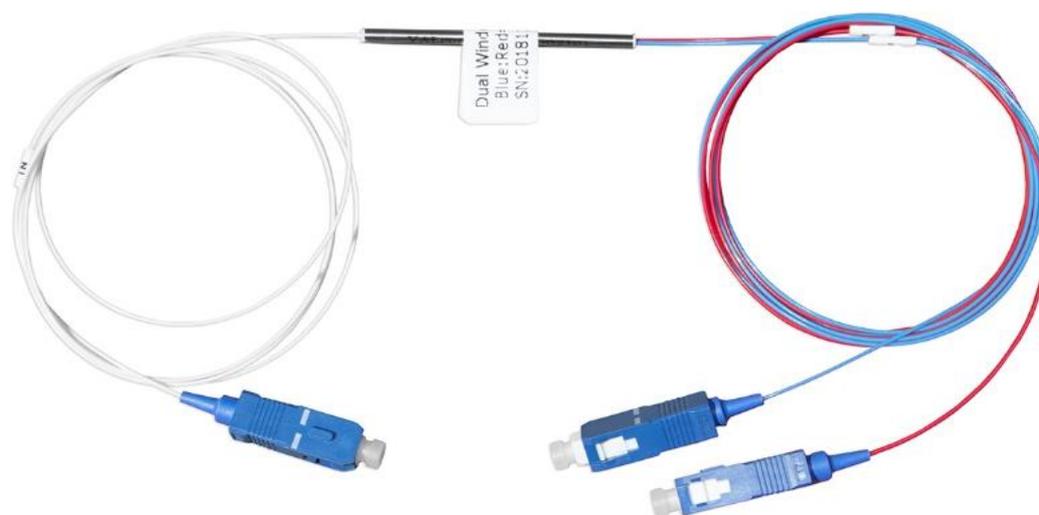


Рисунок 2.5.2 - Зовнішній вигляд IPCOM COUPLER FBT 1X2
1310/1550-30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M

Таблиця 2.5.1 - Характеристики IPCOM COUPLER FBT 1X2 1310/1550-
30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M

Найменування характеристики	Значення
Співвідношення розподілу:	1x2
Тип оптичного волокна:	Одномодовое (SM)
Стандарт оптичного волокна:	G.657.A
Прямі втрати	3,4 дБ
Довжина хвиль:	1310-1550 нм
Тип інтерфейсу:	SC
Температура роботи:	-40 ... + 85 ° C

Вироблений методом FBT 1x2 30/70, зварний одномодовий роздільник має габарити 3x60 мм і служить для фізичного розділення трафіку у мережі PON. Одна з переваг роздільника FBT полягає в його "нерівному" розподілі сигналу, де потужність вхідного сигналу на виході розділяється у відсотках. Другою перевагою є більш доступна ціна цього роздільника порівняно з планарним варіантом [15].

2.6 Оптичний кабель

Оптичний кабель для мережі GPON – це не просто засіб передачі сигналу, але і технологічний шедевр, розроблений для оптимізації передачі великої кількості даних на великі відстані. Він виступає як кровоносна система для оптичної мережі, забезпечуючи стійкість до впливу зовнішніх чинників та ефективність передачі сигналу.

Однією з ключових особливостей оптичних кабелів для GPON є їхній високий рівень пропускної здатності. Завдяки використанню оптичного сигналу, ці кабелі забезпечують гігабітні швидкості передачі даних, роблячи їх ідеальним вибором для великих міських мереж, корпоративних платформ та домашніх використань.

В цьому проекті буде використано 2 типи кабелів: G.652 та G.657, зовнішній вигляд представлено на рис. 2.6.1 та 2.6.2 відповідно.



Рисунок 2.6.1 - Оптичний кабель Fifix OTLMr-2F-G652D-PE-1,5kN

Волоконно-оптичний кабель OTLMr 4F G 652D PE 1,5 kN від компанії Fifix призначений для прокладки телекомунікаційних мереж в каналах кабельної каналізації, а також трубах, блоках, колекторах. Броньований кабель OTLMr nF G 652D PE відрізняється міцною конструкцією з малим діаметром і невеликою вагою, що робить процес транспортування, монтажу та

підключення до існуючої інфраструктури оптоволоконних мереж або побудови нової, значно простіше.

Діаметр всієї конструкції разом з оболонкою становить 9,5-11 мм, а вага одного кілометра кабелю не перевищує 100 кг, що робить оптоволоконний кабель практично універсальним рішенням для побудови телекомунікаційних мереж високої щільності у великих містах і в районах, де необхідна додатковий захист від зовнішніх факторів. Цей кабель найкраще використовувати для прокладки в кабельній каналізації, трубах і там, де існує небезпека затоплення на тривалий період або загроза пошкодження гризунами [16].



Рисунок 2.6.2 - Оптичний кабель FinMark PS001-SM-02

Кабелі для абонентських ділянок характеризуються найменшою довжиною, проте максимальною кількістю ділянок. Однак це не означає, що слід вибирати найбільш економічні конструкції. По-перше, абонентські волоконно-оптичні кабелі (ВОК) часто прокладаються всередині будівель, де можуть піддаватися пошкодженням від гризунів, а також всередині приміщень, де їх можуть пошкоджувати користувачі. Залежно від умов експлуатації, ВОК повинні бути оснащені елементами захисту для волокон. По-друге, абонентські кабелі, які проходять всередині будинків, обов'язково повинні мати зовнішню оболонку, яка не розповсюджує горіння, оскільки такі кабелі часто проходять через різні приміщення. Запас по волокнах для цього

розділу в кабелях зазвичай не передбачається, оскільки частіше виправдано прокладання нового кабелю з меншою кількістю волокон.

Оптичний кабель FinMark PS001-SM-02 містить одне оптичне волокно в щільному легко знімному буфері. Це одномодове волокно відповідає вимогам ІТУ-Т G.657.A2, що дозволяє укласти кабель з малим радіусом вигину без збільшення втрат. Зовнішня оболонка виготовлена з безгалогенного низькодимного матеріалу що не розповсюджує горіння - LSZH (Low Smoke Zero Halogen) чорного кольору. Стійкість до поздовжнього натягу кабелю надає підсилюючий шар кевларових (арамідних) волокон [17].

Волокно G.657 розроблено для сумісності з волокном G.652, але воно менш чутливе до вигинів, а це означає, що воно створює нижчий рівень загасання при вигинах. Волокно G.657 поділяється на дві частини: категорія А для мереж доступу і категорія В для кінцевих ділянок мереж доступу в середовищах з великою кількістю вигинів. Кожна категорія (А і В) поділяється на дві підкатегорії: G.657.A1 і G.657.A2, G.657.B2 і G.657.B3. На рисунку 2.6.3 показано радіуси вигину волокна G.652 і різних волокон G.657.

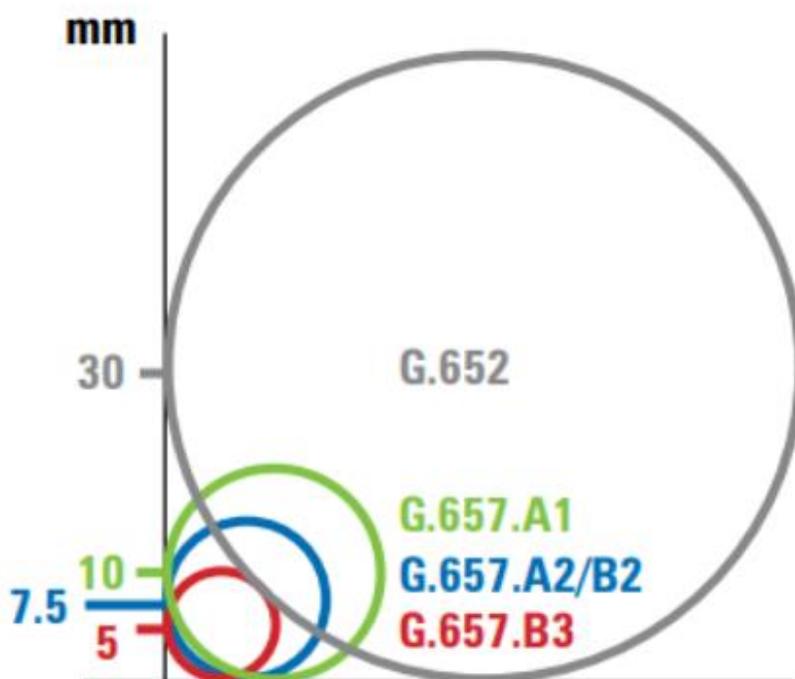


Рисунок 2.6.3 - Різниця в радіусі вигину між G.652 і G.657.

2.7 Оптична муфта

Оптична муфта - це важливий компонент волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). Вона виконує дві основні функції:

- Захист оптичних волокон від зовнішніх впливів. Вуличні умови, такі як ультрафіолетове випромінювання, волога і механічні пошкодження, можуть негативно впливати на оптичне волокно. Муфта забезпечує надійний захист оптичних волокон від цих впливів.
- Герметизація місць з'єднання оптичних кабелів. Муфта герметизує місця з'єднання оптичних кабелів різної довжини, запобігаючи проникненню вологи та пилу. Це важливо для забезпечення довговічності та надійності ВОЛЗ.

Для даного проекту буде використано 2 види муфт:

1. FOSC-X (FOSC-X108/16-2-32), зображена на рисунку 2.7.1.
2. Crosver FOSC-A, зображена на рисунку 2.7.2.



Рисунок 2.7.1 – Оптична муфта FOSC-X (FOSC-X108/16-2-32)

Оптична міні-муфта прохідного типу FOSC-S108 AM/4-2-32, що є аналогом Crosver FOSC-X, має компактні розміри, розрахована на 32 зварних з'єднань (гільзи у два шари) і обладнана 4 кабелепроводами діаметром 18 міліметрів ($4 \times \text{Ø}18 \text{ мм}$). Ця муфта має плоску прямокутну форму і призначена для відгалуження оптичного кабелю з обмеженою кількістю волокон, що використовується в мережах PON для забезпечення підключення абонентів за технологіями FTTB і FTTH. Муфта FOSC-S108 AM/4-2-32 може бути встановлена в кабельні каналізації, на стіни будівель або на стовпи ліній електропередач.

Захисний кожух муфти зроблений з ультрафіолетостійкого поліетилену високої щільності (HDPE) і містить дві сплайс-касети для 8 (16) гільз термоусаджуваних. Кабельоводи муфти оснащені металевими напрямними для кабелів і гвинтоподібними кріпленнями для фіксації силових елементів оптичного кабелю. Це забезпечує надійну фіксацію кабелів у муфті та запобігає їхньому пошкодженню. Знімна кришка муфти закріплюється за допомогою чотирьох болтів, що забезпечує легкий доступ до внутрішніх елементів муфти [19].



Рисунок 2.7.2 – Оптична муфта FOSC-A

Компактна муфта Crosver FOSC-A розроблена для з'єднання та розгалуження оптичного кабелю, якщо відбувається його встановлення на повітрі чи під землею.

В корпусі з високоміцного пластика розташовані сплайс-касети та елементи для фіксації оптичного кабелю. Герметичність сполучення половинок корпусу забезпечується за допомогою гумової прокладки. Щоб забезпечити рівномірне стискання по всій довжині муфти, передбачено чотири спеціальні клинові стягуючі механізми. Спеціальна герметизуюча стрічка використовується для підвищення надійності герметизації муфти в місцях введення кабелю. Матеріал цієї стрічки підібраний так, щоб компенсувати механічне напруження, що виникає в діапазоні температур від -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Усі металеві компоненти муфти виготовлені з корозійностійких матеріалів [20].

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОГО БЮДЖЕТУ ЛІНІЇ PON

Наслідком правильно проведених розрахунків оптичного бюджету є не лише забезпечення стабільності та надійності оптичного зв'язку, але і економія ресурсів та оптимізація енергоспоживання мережі. Крім того, це відкриває можливості для розгортання нових сервісів та технологій, що підтримують сучасні вимоги користувачів.

У світлі постійного розвитку технологій та зростання об'ємів передаваних даних, розрахунок оптичного бюджету лінії PON стає важливим інструментом для забезпечення майбутнього розвитку та конкурентоспроможності оптичних мереж. Він визначає не лише ефективність мережі сьогодні, але й відкриває шлях для інновацій та технологічного прогресу у майбутньому.

На попередніх етапах проектування було встановлено, що сегмент мережі PON-FTTH має деревоподібну топологію з двома каскадами оптичних спліттерів, як показано на рисунку 3.1. Мета полягає в тому, щоб з'єднати дві окремі групи абонентів з мережею, тому перший каскад оптичних спліттерів повинен мати коефіцієнт поділу 1×2 . У кожному вузлі, де зосереджені абоненти, планується підключити 30 ONU. Однак, з урахуванням майбутнього розвитку, було б доцільно використовувати ОР з коефіцієнтом розподілу 1×32 . Це надасть можливість підключити ще два ONU в кожному вузлі під час експлуатації даного сегмента мережі (точки росту - TR).

У початковій зоні мережі, максимальна відстань між оптичним розподілювачем (ОР) та оптичними мережевими пристроями (ONU) встановлена на рівні 1 км. Це дозволяє забезпечити оптимальний рівень сигналу та якість передачі даних.

Однак, в наступній зоні, ця відстань збільшується до 1,5 км. Це робиться для того, щоб забезпечити більший радіус покриття та залучити більше абонентів до мережі. Втім, збільшення відстані може вплинути на якість

сигналу, тому важливо врахувати цей фактор при плануванні та розгортанні мережі.

Враховуючи ці параметри, складено оптимальний план розгортання мережі, який би враховував потреби абонентів, географічні особливості території та технічні можливості обладнання.

Обчислення ініціюється з боку абонента, а саме з боку оптичного мережевого блоку (ONU), і виконується на довжині хвилі 1310 нм, де загасання сигналу досягає свого піку. Це справедливо при використанні кабелю FinMark PS001-SM-02, який має коефіцієнт загасання 0,4 дБ/км. З огляду на прагнення побудувати збалансовану мережу, ретельні розрахунки є обов'язковими для кожної гілки в "дереві" PON.

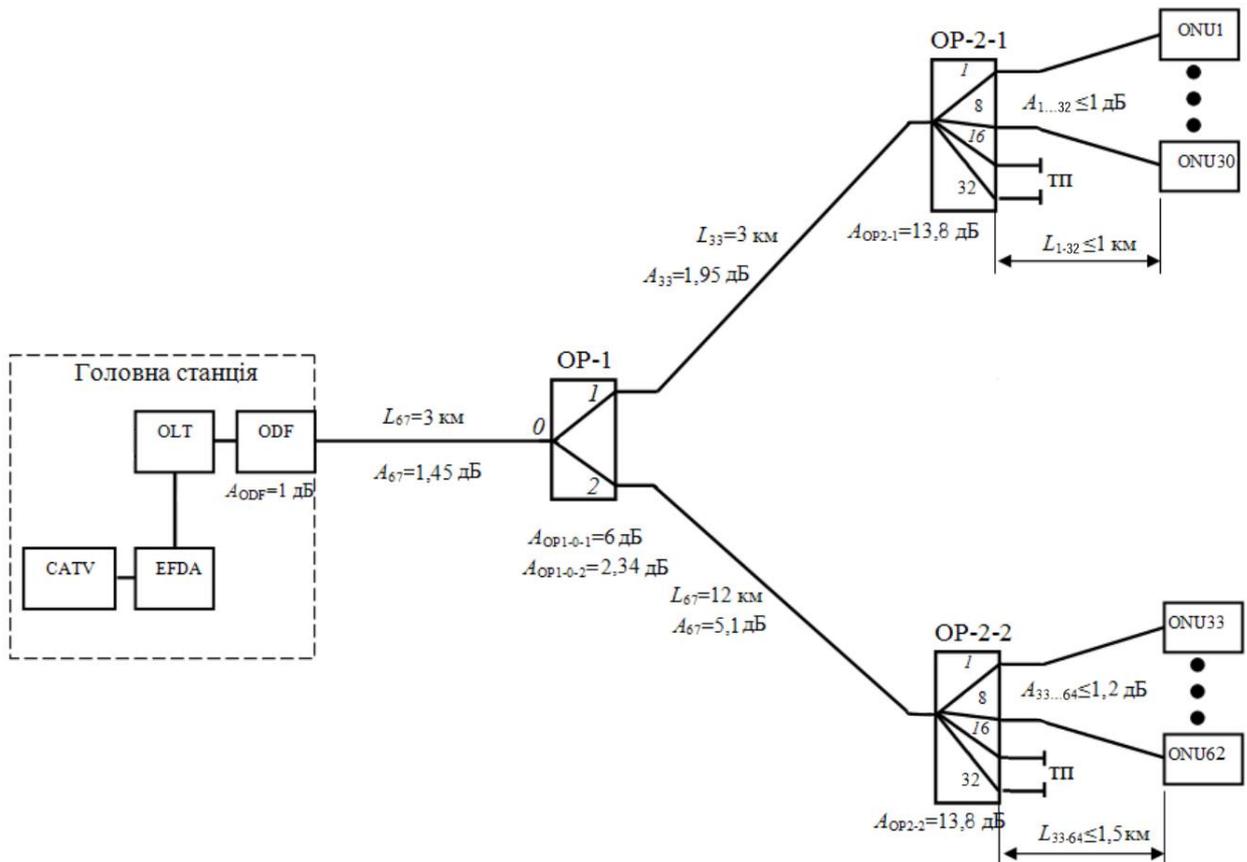


Рисунок 3.1 – Структурна схема сегмента мережі PON для розрахунку бюджету втрат

Методологія розрахунку спеціально застосовується до сегментів від ONU до ОР-2 і регулюється наступною формулою:

$$A_x = L_x \times \alpha + N_{pz-x} \times A_{pz} + N_{zz} \times A_{zz}, \quad (3.1)$$

де L_x – довжина лінії від ONU-Х до ОР другого каскаду;
 α – коефіцієнт згасання на розрахунковій довжині хвилі;
 N_{pz-x} – кількість роз’ємних з’єднань на ділянці х;
 A_{pz} – згасання одного роз’ємного з’єднання;
 N_{zz-x} – кількість зварних з’єднань на ділянці х,
 A_{zz} – згасання одного зварного з’єднання (у розрахунках можна прийняти рівним 0,1 дБ).

Тому що відстані від ОР до ONU невеликі, то розрахунок будемо виконувати для максимальної відстані в кожній зоні концентрації абонентів:

$$A_{1...32} \leq 1 \times 0,4 + 2 \times 0,2 + 2 \times 0,1 = 1 \text{ дБ},$$

$$A_{33...64} \leq 1,5 \times 0,4 + 2 \times 0,2 + 2 \times 0,1 = 1,2 \text{ дБ},$$

Визначення згасання у оптичних розгалужувачах другого каскаду. В другому каскаді доцільно застосовувати планарні ОР з симетричними виходами (однаковими коефіцієнтами розгалуження потужності), тому що різниця згасань між ділянками ONU – ОР-1 у першій зоні не перевищує ($0...0,35 < 0,5$ дБ), а для другої зони може незначно перевищувати ($0...0,6 > 0,5$ дБ) рівномірність втрат між виходами ОР. Тому під час будівництва мережі при проведенні вимірювань, ділянки більшої довжини можна підключити до виходів з меншим згасанням, а ділянки меншої довжини – до виходів з більшим згасанням. Отже, згасання в PLC Splitter 1x32, SC/UPC, 900 um, G657A FiberField з рівномірним розподілом потужності між виходами

дорівнює 13,8 дБ. Згасання лінії від ONU до вхідного полюса ОР-2 для абонентів першої та другої зони складає відповідно:

$$A_{\text{ОР2-1}} = 1 + 13,8 = 14,8 \text{ дБ},$$

$$A_{\text{ОР2-2}} = 1,2 + 13,8 = 15 \text{ дБ},$$

Визначення згасання лінії від ONU до вихідних полюсів оптичного розгалужувача першого каскаду проводиться за формулою (3.1) до якої додається згасання ділянки ONU – вхідний полюс ОР другого каскаду:

$$A_{1...33} = 3 \times 0,35 + 3 \times 0,2 + 3 \times 0,1 + 14,8 = 16,75 \text{ дБ},$$

$$A_{33...66} = 12 \times 0,35 + 3 \times 0,2 + 3 \times 0,1 + 15 = 20,3 \text{ дБ},$$

Визначення згасання в оптичному розгалужувачі першого каскаду. Різниця згасань між вихідними полюсами ОР-1 складає понад 3,5 дБ, тому для будівництва збалансованої мережі в даному випадку потрібно застосовувати оптичний розгалужувач типу FBT з несиметричним розподілом потужності. Щоб визначити згасання в кожному напрямку передачі ОР-1 потрібно значення загасань кожної ділянки ONU-1,33 – вихідний полюс ОР-1 перевести у коефіцієнт згасання за формулою:

$$\alpha_{1-33} = 10^{0,1 \times A_x}, \quad (3.2)$$

де A_x – згасання ділянки x від ONU до відповідного вихідного полюса ОР.

Отже:

$$A_{33} = 10^{0,1 \times 16,75} = 47,3 \text{ раз},$$

$$A_{66} = 10^{0,1 \times 20,3} = 107,1 \text{ раз}.$$

Далі визначимо суму коефіцієнтів згасання та коефіцієнт відгалуження потужності сигналу за вихідними полюсами ОР, відповідно за формулами:

$$\alpha_{\Sigma} = \sum_{x=1}^N \alpha_x, \quad (3.3)$$

$$K_x = \frac{\alpha_x}{\alpha_{\Sigma}} \quad (3.4)$$

де x – номер вихідного полюсу ОР;
 N – кількість вихідних полюсів ОР

Якщо коефіцієнт розгалуження потужності сигналу помножити на 100, то отримане значення представляє коефіцієнт розгалуження у відсотках. Цей відсоток означає частку потужності сигналу, яка розходить на вихідних полюсах ОР:

$$K_{x\%} = K_x \times 100\% = \left(\frac{\alpha_x}{\alpha_{\Sigma}} \right) \times 100. \quad (3.5)$$

В результаті розрахунків отримаємо наступні значення:

$$\alpha_{\Sigma} = 47,3 + 107,1 = 154,4;$$

$$K_1 = \frac{47,3}{154,4} = 0,306; \quad K_{1\%} = 30,6\%;$$

$$K_2 = \frac{107,1}{154,4} = 0,694; \quad K_{2\%} = 69,4\%.$$

Зазвичай ОР виготовляються з коефіцієнтами розгалуження кратними 5%. Підвищення точності коефіцієнта розгалуження відбувається за рахунок збільшення виробничих витрат на оптичні приймачі. Крім того, необхідно враховувати нерівномірність втрат на виходах, а також внутрішні втрати самого оптичного розгалужувача. У контексті розрахунків можна припустити,

що ці втрати в сукупності становлять 20% або 0,8 дБ від загальних втрат на розгалуженні. Тобто ($\alpha_{\Sigma p} = 1,2 \times \alpha_{\Sigma}$). Отже:

$$\alpha_{\Sigma p} = 1,2 \times 154,4 = 185,3 ;$$

$$k_{1p} = 30; \quad k_{1\%p} = 30\%;$$

$$k_{2p} = 70; \quad k_{2\%p} = 70\%.$$

Далі визначаємо згасання у ОР-1 між вхідним (0) та вихідними полюсами (1, 2) з урахування коефіцієнтів розгалуження та власних втрат ОР за формулою:

$$A_{OP-0-X} = 10 \lg \left(\frac{\alpha_{\Sigma p}}{k_X \times \alpha_Z} \right) = 10 \lg \left(\frac{1}{k_{Xp}} \right) + 10 \lg \left(\frac{\alpha_{\Sigma p}}{\alpha_Z} \right) = A_{ILX} + A_{EL}. \quad (3.6)$$

де A_{ILX} – втрати, що вносить ідеальний ОР (Insertion loss) при передаванні сигналу з вхідного полюса до вихідного полюса X;

A_{EL} – надлишкові втрати (Excess loss) реального розгалужувача.

$$A_{OP1-0-1} = 10 \lg \left(\frac{185,3}{0,3 \times 154,4} \right) = 6 \text{ дБ};$$

$$A_{OP1-0-2} = 10 \lg \left(\frac{185,3}{0,7 \times 154,4} \right) = 2,34 \text{ дБ}.$$

Визначення втрат в кожній гілці «дерева» на ділянці ONU – вхідний полюс оптичного розгалужувача першого каскаду, для цього потрібно до згасання ділянки ONU – вихідний полюс ОР-1 додати згасання самого ОР-1 у відповідному напрямку:

$$A_{1-OP1} = 16,75 + 6 = 22,75 \text{ дБ};$$

$$A_{33-OP1} = 20,3 + 2,34 = 22,64 \text{ дБ};$$

Як бачимо, найбільше згасання має сигнал у першій гілці «дерева», тому далі розрахунок виконується саме для неї.

Визначення втрат на ділянці ONU – вхід головної станції за формулою (3.1) до якої додається згасання попередніх ділянок мережі:

$$A_{1-66} = 3 \times 0,35 + 1 \times 0,2 + 2 \times 0,1 + 22,75 = 24,2 \text{ дБ}.$$

Визначення загальних втрат у мережі PON з урахуванням втрат станційної ділянки мережі. До згасання на зовнішній оптичній мережі додається згасання на станційному оптичному кросі ODF (1дБ, враховуючи всі з'єднання на кросі):

$$A_{ONU-OLT} = 24,2 + 1 = 25,2 \text{ дБ}.$$

Визначення експлуатаційного запасу. Запас визначається як різниця між максимальним та розрахованим оптичним бюджетом втрат:

$$A_{зап} = 28 - 25,2 = 2,8 \text{ дБ}.$$

Експлуатаційний запас даного сегмента мережі GPON становить 2,8 дБ. Це важливий параметр, який вказує на резервну потужність системи, що може бути використана для компенсації можливих втрат сигналу в мережі [22].

Виконані розрахунки підтверджують працездатність даного сегмента мережі GPON. Це означає, що мережа здатна ефективно передавати дані між абонентами та центральною офісною станцією, забезпечуючи високу якість послуг для користувачів.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи було проведено детальний аналіз технології PON, включаючи її виникнення, характеристики WDM-PON, GPON і XG-PON, а також їх порівняння. Було обрано GPON як найбільш оптимальний варіант, з огляду на його технічні переваги, такі як двонаправлене передавання, гнучкість у використанні ресурсів та більша ефективність енергоспоживання.

Було розглянуто мережі PON під час блекауту в Україні, що дозволило краще зрозуміти, як ці мережі працюють в екстремальних умовах.

Особливу увагу було приділено проектуванню оптичної мережі. В даному проекті буде використана технологія FTTH, оскільки цей варіант надає оптимальне рішення для проведення оптичного волокна безпосередньо до офісів підприємства.

Було розглянуто різні топології мережі PON, з яких було обрано топологію дерево. Цей вибір було зроблено на основі аналізу різних факторів, таких як географічне розташування, кількість користувачів та вимоги до пропускної здатності.

У другому розділі було зроблено вибір обладнання мережі PON, включаючи живлення PON, оптичний лінійний термінал OLT, абонентський термінал ONT, SFP трансивер, оптичний спліттер, оптичний кабель та оптичну муфту. Крім того, в ньому підкреслюється нагальна потреба в стратегіях прогнозування і відновлювального обслуговування для забезпечення безперебійної і надійної роботи PON в сучасну епоху.

У третьому розділі було проведено розрахунок оптичного бюджету лінії PON. З урахуванням експлуатаційного запасу та результатів розрахунків, можна зробити висновок про готовність даного сегмента мережі до впровадження та експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. WDM-PON vs GPON vs XG-PON | FS Community [Електронний ресурс] // Knowledge. – Режим доступу: <https://community.fs.com/article/wdm-pon-versus-gpon-and-xg-pon.html> (дата звернення: 26.9.2023). – Назва з екрана.
2. М.А. Штомпель. Аналіз технологій пасивних оптичних мереж / Штомпель М.А., Швидкий В.Ю. // Збірник наукових праць за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». (Полтава, 10 листопада 2023 р.) – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023, с.126-128.
3. Швидкий В.Ю. Аналіз застосування пасивних оптичних мереж під час блекауту в Україні / Швидкий В.Ю. // Збірник тез доповідей 83 студентської науково-технічної конференції Українського державного університету залізничного транспорту (Харків, 12-14 грудня 2023 р.) – Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 2023, с.78
4. DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK, Juan Salvador Asensi Pla, BRNO, 2011, page 42.
5. "Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON" Zouhaira Abdellaoui, Yiyi Dieudonne, Anoir Aleya, July 2021.
6. Overview of GPON Technology | FS Community. Knowledge. URL: <https://community.fs.com/article/overview-of-gpon-technology.html> (дата звернення: 05.11.2023).
7. The Fundamentals of Passive Optical Networking (PON). URL: <https://www.prooptix.com/news/passive-optical-networking/> (дата звернення: 05.11.2023).
8. Pedia T. Traffic flow in GPON FTTH network. Technopediasite. URL: <https://www.technopediasite.com/2021/02/traffic-flow-in-gpon-ftth-network.html> (дата звернення: 05.11.2023).

9. Anderson R. Keeping The Lights On - Protecting Your Remote Active Fiber Elements Against Unplanned Outages. SCTE Cable-Tec Expo, 2022.
10. Термінал оптичної лінії GPON OLT GCOM GL5610-16P - GCOM. GCOM. URL: <https://gcom.com.ua/uk/pon/gpon-gl5610-16p/> (дата звернення: 16.11.2023).
11. Купити абонентський термінал BDCOM GP1702-1G в miatis.com.ua. MiaTisGroup - постачальник мережевого обладнання оптом. URL: <https://miatis.com.ua/abonentskyi-terminal-bdcom-gp1702-1g/> (дата звернення: 16.11.2023).
12. Модуль Cisco 1000BASE-T SFP (GLC-TE=) - купити за найкращою ціною в Києві від компанії "Нетворк Дискаунт" - 528615411. "Network Discount" - інтернет-магазин мережевого обладнання. URL: <https://networkdiscount.com.ua/ua/p528615411-modul-cisco-1000base.html> (дата звернення: 16.11.2023).
13. Passive optical networks: cabling considerations and reference architectures white paper. Cisco. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-pon-series/nb-06-cat-pon-wp-cte-en.html> (дата звернення: 17.11.2023).
14. Купити PLC splitter (спліттер) 1x32, SC/UPC, 900 um, G657A fiberfield з доставкою по Україні в інтернет-гіпермаркеті lanmarket.ua. Магазин мережевого обладнання Lanmarket - роздрібний та оптовий продаж мережевого обладнання. URL: <https://lanmarket.ua/ua/plc-splitters-deliteli-planarnye/fiberfield-plc-splitter-1x32-sc-upc-900-um-1500-mm-2787/> (дата звернення: 17.11.2023).
15. Дільник оптичний FBT 1x2 з коннекторами SC / UPC | IPCOM. Ipcom.ua. URL: <https://ipcom.ua/uk/delytel-optycheskyj-coupler-fbt-1x2-13101550-3070-0-scupc-09mm-cord-10m> (дата звернення: 17.11.2023).
16. OTLMr-2F-G652D-PE-1,5kN - Оптичний кабель Fifix OTLMr-2F-G652D-PE-1,5kN купити в Києві, Дніпрі за найкращою ціною! EServer. EServer. URL: <https://e-server.com.ua/opticheskie->

komponenty/opticheskij-kabel/kabel-singlemode/opticheskij-kabel-fifix-otlmr-2f-g652d-pe-1-5kn-detail (дата звернення: 18.11.2023).

17. Оптичний кабель FinMark PS001-SM-02. Мережеве обладнання. URL: <https://ua.setevoe.com.ua/opticheski-kabel/kabel-ftth/finmark-ps001-sm-02.html> (дата звернення: 18.11.2023).

18. Partha Pratim Sahu. Fundamentals of Optical Networks and Components. / Sahu Partha Pratim; First edition. — 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL: CRC Press, 2021. — 389с.

19. Муфта оптична FOSC-X (FOSC-X108/16-2-32) Crosver купити в Україні – ціни, характеристики | Lanmarket.ua. Магазин мережевого обладнання Lanmarket - роздрібний та оптовий продаж мережевого обладнання. URL: <https://lanmarket.ua/ua/mufty/mufta-opticheskaya-fosc-z04-4-1-1-4/> (дата звернення: 29.11.2023).

20. Муфта оптична Crosver FOSC-A. Інтернет-магазин мережевих технологій Gepon. URL: <https://gepon.com.ua/mufti-optic/mufta-FOSC-a> (дата звернення: 18.11.2023).

21. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : Підручник [для вищих навчальних закладів] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.: іл.

22. Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкопasmового доступу : навч. посіб. з дипломного проектування та виконання магістерських робіт /: В.О. Балашов, І.Б. Барба, В.І. Корнійчук, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 240 с.

Додаток А

SECTION 1 PON OVERVIEW

1.1 The emergence of PON technology

PON (Passive Optical Network) is a telecommunications data transmission technology that uses optical cables and distribution devices to provide access to the Internet and other network services. The history of PON dates back to 1995, when the Japanese company NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) first introduced it under the name BPON (Broadband PON).

BPON was the first commercial implementation of PON, which provided data transmission speeds of up to 622 Mbps and could serve up to 32 subscribers simultaneously on a single port. In 2003, GEPON (Gigabit Ethernet PON) was introduced with an even higher data transfer rate of 1 Gbps.

In 2004, GPON (Gigabit-capable PON) was introduced, which is the most common PON technology today. GPON provides data transmission speeds of up to 2.5 Gbps in the direction to the subscriber and up to 1.25 Gbps in the direction from the subscriber, allowing to serve up to 64 subscribers on one port.

Recently, XG-PON (10G PON) technology has been gaining popularity, providing impressive data rates of up to 10 Gbps in the direction of the subscriber and up to 2.5 Gbps in the direction of the subscriber.

This means that users can watch high-resolution videos, stream multimedia content, and make video calls without buffering or interruption issues. Thanks to the high data transfer speeds, PON users can instantly access information and interact with online applications, making their Internet experience more comfortable and productive. This is especially important for users who use streaming services such as Netflix, YouTube, and Spotify, which require fast data transmission to play content without delays.

When using PON, users can enjoy high-speed video and music streaming without having to worry about download times or the bandwidth required. In addition, PON's high-speed data transfer capability enables users to effectively

utilize online applications such as cloud storage and video conferencing. Users can upload and synchronize large files, work with a group of colleagues remotely, and deliver live presentations without experiencing any latency or loss of quality during data transmission. Thus, the possibility of high-speed data transmission is one of the main advantages of PON over other data transmission technologies.

The use of PON has long been perfected in various countries around the world, such as Japan, Korea, China, Europe, and the United States. These countries are pioneers in the development of PON and have a significant market share of this technology.

In recent years, PON has also been actively developing in other countries, such as Australia, Brazil, India, Indonesia, Mexico, Russia, Singapore, Thailand, Turkey, and Ukraine. These countries are investing in the development of PON because this technology provides high bandwidth, reliability, and cost-effectiveness.

This list is not exhaustive, as PON is used in many other countries around the world.

PON is also actively developing in Ukraine. In 2022, more than 1 million subscribers were connected to PON in Ukraine. This figure is growing every year, and by 2025, more than 5 million subscribers are planned to be connected to PON in Ukraine.

Thus, PON is a technology with a deep history of development, constantly improving and providing access to high-speed Internet services, telephony, high-quality television and other multimedia services.

1.2 WDM-PON, GPON, and XG-PON characteristics and comparison

Gigabit access GPON (Gigabit Passive Optical Network) is a type of point-to-multipoint optical network where passive splitters in the optical fiber distribution channel play a key role. This technology makes it possible to efficiently use a single optical fiber originating from the provider's central office to serve multiple homes and small businesses.

The main feature of GPON is the use of passive splitters in the optical fiber distribution network (ODN). Passive splitters do not require power, so GPON is an economical and reliable solution for building large access networks.

On the other hand, WDM-PON, which stands for wavelength division multiplexing passive optical network, is an access network technology with the potential to transform the infrastructure of telecom operators. WDM-PON represents a logical point-to-point architecture based on wavelength-based principles that is superimposed on a physical point-to-multipoint topology. This innovative approach uses WDM multiplexing and demultiplexing technologies to separate data signals into separate output signals that can be associated with different buildings or households. This hardware-based traffic separation provides customers with the benefits of secure and scalable point-to-point connections while allowing operators to maintain extremely low fiber counts. As a result, this leads to a significant reduction in operating costs. In today's network landscape, WDM-PON is becoming a key technology, especially in the context of 5G backbone infrastructure development.

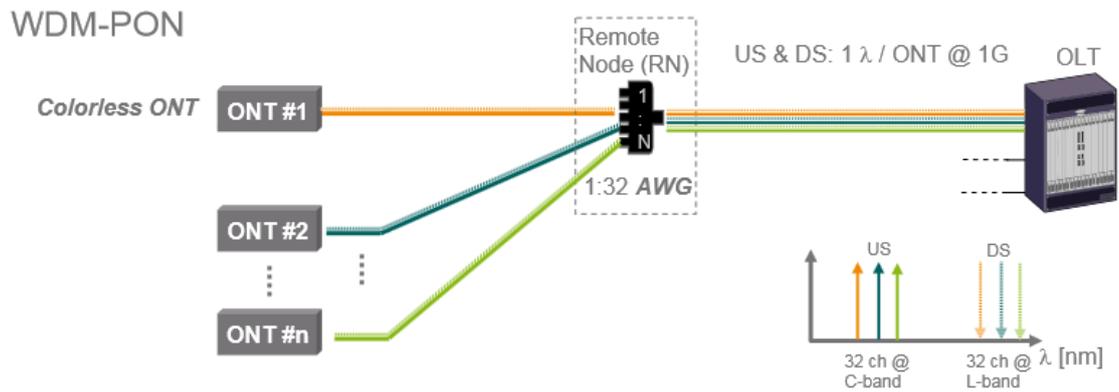


Figure 1.2.1 - WDM-PON technology

XG-PON, also called 10G-PON, is an enhancement to GPON technology, offering a framework for transitioning to 10Gbps downstream signal rates for downstream users and 2.5Gbps upstream signal rates for upstream users. In the context of XG-PON, the downstream signal for end users operates in the spectral range of 1575 nm to 1580 nm, while the upstream signal for users is in the range of 1260 nm to 1280 nm. This technology, 10G-PON, fully replicates the point-to-multipoint (P2MP) architecture characteristic of GPON and demonstrates versatility in the application of various access scenarios, including but not limited to fiber to the home (FTTH), fiber to the building (FTTCell), fiber to the building (FTTB), fiber to the curb (FTTCurb), and fiber to the cabinet (FTTCabinet).

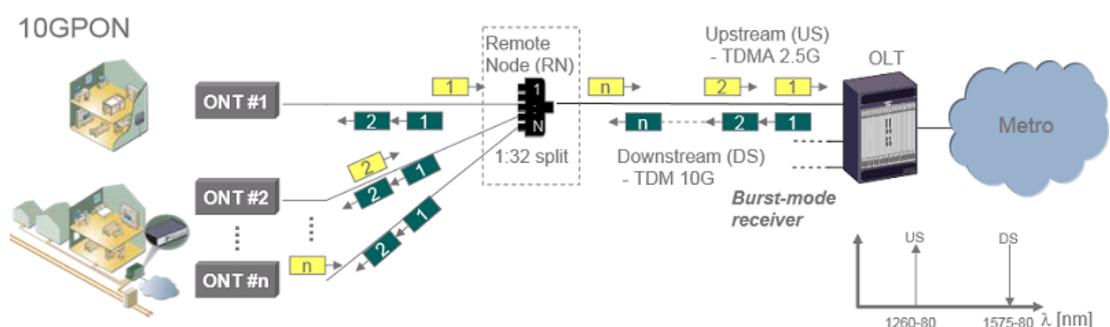


Figure 1.2.2 - XG-PON technology

Table 1.2.1 provides a brief overview of the technical capabilities of GPON, XG-PON and WDM-PON.

Table 1.2.1 - Comparison of GPON, XG-PON and WDM-PON technical characteristics

	GPON	XG-PON	WDM-PON
Upstream (nm)	1260-1360	1260-1280	Multiple
Downstream (nm)	1480-1500	1575-1580	Multiple
Uplink speed	1.2Gbps	2.5/10Gbps	1Gbps
Downlink speed	2.5Gbps	10Gbps	1Gbps
GPON coexistence	No	Yes	Yes

GPON and XG-PON: To increase data rates while optimizing the use of existing fiber infrastructure to reduce costs, XG-PON technology has been developed to meet these requirements. XG-PON maintains a network structure similar to GPON, but uses different wavelengths in the upstream and downstream. Importantly, these two technologies can coexist harmoniously, protecting the investments made by network operators.

GPON and WDM-PON: The main differences between GPON and WDM-PON mainly relate to bandwidth and fiber utilization. In the case of WDM-PON, it is easy to determine the bandwidth allocated to each user because each end user is assigned a dedicated wavelength. Typically, each wavelength carries a Gigabit Ethernet (GbE) signal, which provides a fixed bandwidth of 1.25 Gbps for individual end users. It is worth noting that WDM-PON does not offer much advantage in cases where the content of the signal is primarily broadcast, such as conventional IP television. In such scenarios, the broadcast signal must be replicated via an optical line terminal (OLT) on each wavelength and delivered independently to each user. Estimating GPON bandwidth per user is more complex, as it is critically dependent on the set of services provided to users and requires careful consideration of numerous elements.

One of the notable advantages of GPON is its bidirectional transmission, as opposed to the unidirectional transmission used in our WDM-PON example. Hence,

GPON makes more efficient use of fiber infrastructure. Although unidirectional transmission is possible with WDM-PON, it comes at a cost.

WDM-PON and XG-PON: A significant difference between WDM-PON and XG-PON relates to the optical channel budget. The transmission scheme for WDM-PON is relatively simple, and the attenuation is mainly due to losses in the multiplexers/demultiplexers (MUX/DeMUX) and fiber propagation, taking into account factors such as connectors, patch panels, and other elements of the access infrastructure that attenuate the signal. For example, in the case of CWDM-PON, standard CWDM optics can provide 0 dBm transmit power, while the receiver sensitivity depends on the type of detector used. With a PIN detector, the sensitivity at 1.25 Gbps (assuming GbE transmission) can be approximately -18 dBm.

Conversely, for XG-PON, the standardization requires a sufficient link budget for XG-PON1, which defines XG-PON, allowing it to achieve coverage comparable to GPON B+ and GPON C. Taking into account the slightly higher loss at XG-PON1 wavelengths compared to GPON wavelengths, as well as other transmission line differences between GPON and XG-PON, 29 dB and 31 dB budgets can be achieved when compared to GPON B+ or GPON C[1].

Additionally, on the OLT side, XG-PON gains an advantage in terms of power consumption by utilizing shared OLT ports, unlike WDM-PON, which requires one dedicated OLT port per subscriber. However, WDM-PON typically boasts lower power consumption (due to significantly lower splitter losses), potentially resulting in lower power consumption per transmitter than XG-PON. In addition, integration (Tx, Rx arrays) and the ability to power down unused OLT ports can further contribute to power savings in WDM-PON. On the ONT side, which is the main area of power consumption, XG-PON benefits from not requiring laser cooling, while WDM-PON can use lower-speed components with reduced power requirements.

Taking these aspects into account, GPON is the optimal choice for developing the optical segment of an enterprise telecommunications network, providing efficiency, cost savings, and high quality of service [2].

1.3 Passive optical networks (PON) during blackout in Ukraine

Passive optical networks (PONs) are considered energy efficient for several reasons, primarily because of their passive nature and the way optical signals are distributed. Here are some of the key factors that contribute to PON's energy efficiency:

1. **Passive components:** As the name implies, PONs use passive components such as optical splitters that do not require any power source to operate. These splitters simply split the optical signal into multiple paths without any active electronics. This reduces the need for power-consuming active equipment in the distribution network.

2. **Common architecture:** PONs use a shared architecture where multiple end users share a common fiber optic line, which minimizes the number of active components and reduces overall power consumption. In contrast, traditional point-to-point architecture requires active electronic equipment at each endpoint.

3. **Energy-efficient endpoints:** Optical network endpoints (ONTs) at customer sites are typically designed with energy efficiency in mind. These ONTs consume less power compared to traditional broadband modems or other equipment in the customer's premises.

4. **Reduced fiber length:** PONs are designed to minimize the length of optical fiber required to connect users to a central office or optical line terminal (OLT). Shorter fiber lengths mean less optical signal loss and less power requirement.

5. **Low latency and standby power:** PONs typically operate in low latency mode, which means they are not actively transmitting data all the time. When data needs to be transmitted, the OLT sends a signal, and ONTs consume power only during active communication. In standby mode, power consumption is minimal.

6. **Reduced cooling requirements:** Because PONs use fewer active electronic devices and generate less heat, the cooling requirements of PON infrastructure are

lower compared to traditional active Ethernet networks. This further contributes to energy efficiency.

7. Efficiency of fiber optics: Optical fibers themselves are very energy efficient for data transmission. Light signals in optical fiber experience minimal loss, which reduces the need for signal amplification and regeneration, which can be energy-intensive in other network architectures.

8. Scalability: PONs are easily scalable. As the number of users grows, additional passive splitters can be added to the network without significant changes to the central office equipment. This scalability reduces the need for large-scale energy-intensive upgrades when expanding the network.

It's important to note that PONs are not completely free of power consumption; the optical line terminal (OLT) and optical network terminal equipment (ONT) consume power. However, the passive nature of PONs and the sharing of resources by multiple users make them significantly more energy efficient than alternative network technologies such as traditional copper DSL networks or active Ethernet networks.

Ukraine is already successfully using PON technology to provide uninterrupted Internet access in various residential and business facilities. For example, in Lviv, PON plays an important role in providing Internet access for hospitals, schools and other important institutions during power outages.

PON potential for future power outages:

PONs have significant potential for use during future outages. They can provide uninterrupted Internet access for critical institutions and individuals who rely on it.

If there is uninterruptible power in the apartment or a regular battery that can power the router, and if there is backup at the provider's communication node, the user can have access to the Internet without interruption. It is worth noting that today most operators are actively seeking to replace traditional fiber optic cables with passive optical networks.

For example, PON can be used to provide Internet access in:

- Hospitals and other medical facilities.
- Schools and educational institutions.
- Government and other public institutions.
- Military and defense institutions.

In addition, PON can be used to provide Internet access to people living in areas that have been devastated by conflict or other emergencies and are frequently affected by power outages. This is especially important for people living in rural areas or in areas at high risk of power outages, as it can help them stay in touch with their loved ones and receive vital information.

According to recent reports, only 37% of fixed-line users in Ukraine currently use PON-based Internet networks, which can operate efficiently even during prolonged power outages. This figure represents the average level across the country and indicates the need for additional efforts to improve the stability of Internet services throughout Ukraine [3].

In summary, PON technology is noted for its resilience during power outages in Ukraine and has great potential for use in future scenarios. It can play a critical role in ensuring uninterrupted Internet access for critical services and those who rely on them, and its benefits become especially important during power outages.

1.4. Design features of passive optical access networks

The peculiarity of PON technology compared to other optical technologies is the use of optical splitters to connect to several subscriber devices of one central node. Optical splitters distribute the incoming optical power between different output ports. This is associated with signal attenuation, which increases with the number of connected subscriber devices. Thus, there is an inverse relationship between the maximum distance to subscribers and their number: more subscribers leads to a shorter maximum communication range.

This requires the development of special methods for calculating the loss budget of an optical network. PON design includes the following steps:

1. Selection of FTTx technology.
2. Determination of ONU/ONT installation locations.
3. Selecting the network topology, setting the locations of optical splitters and their types.
4. Select routes and type of fiber optic cable.
5. Calculation of energy parameters of the OMD, including the network loss budget, optimal branching factors for all optical splitters and determination of the class of active PON equipment.

For example, PON can be used to provide Internet access in:

- Hospitals and other medical facilities.
- Schools and educational institutions.
- Government and other public institutions.
- Military and defense institutions.

In addition, PON can be used to provide Internet access to people living in areas that have been devastated by conflict or other emergencies and are frequently affected by power outages. This is especially important for people living in rural areas or in areas at high risk of power outages, as it can help them stay in touch with their loved ones and receive vital information.

According to recent reports, only 37% of fixed-line users in Ukraine currently use PON-based Internet networks, which can operate efficiently even during prolonged power outages. This figure represents the average level across the country and indicates the need for additional efforts to improve the stability of Internet services throughout Ukraine [3].

In summary, PON technology is noted for its resilience during power outages in Ukraine and has great potential for use in future scenarios. It can play a critical role in ensuring uninterrupted Internet access for critical services and those who rely on them, and its benefits become especially important during power outages.

1.5 Selection of FTTx technology

The FTTx family uses different technologies to transmit digital signals over optical fiber as the primary medium. The scope of these technologies varies depending on the proximity of the optical fiber to the end user, which is influenced by the fluctuations in the cost of these systems.

Depending on the degree of FTTx deployment, these networks can be divided into separate types:

- FTTB - Fiber-to-the-Business (fiber to the building): This option involves laying optical fiber directly from the central office switch to the enterprise. It is characterized by a focus on meeting the needs of the business segment, providing extremely efficient and uninterrupted data exchange.

- FTTC - Fiber-to-the-Curb: In this case, fiber optic cables are laid from the central office equipment to a communication switch located within 300 meters of a home or business. The connection to the customers in the building is established using a variety of transmission media such as coaxial cable, twisted pair copper wires (e.g. for DSL), etc.

- FTTH - Fiber-to-the-Home: This is where optical fiber is deployed directly from a switch in the central office to the residence. An important difference from FTTB is the bandwidth requirements, as enterprises are more likely to need high bandwidth for a long period of time compared to home users.

- FTTN - Fiber-To-The-Neighborhood: This configuration uses a PON architecture where optical fiber cables extend up to 1 km from the homes and businesses served by the network.

- FTTO - Fiber-to-the-Office: Similar to FTTB, FTTO provides optical fiber to the premises of a business customer, providing a reliable and high-speed network infrastructure.

- FTTP - Fiber-to-the-Premises: This term encompasses a variety of FTTx concepts and is a catch-all. FTTP architectures include both FTTB and FTTH

implementations, and can use technologies such as BPON, EPON, or GPON to provide high network performance [2].

Here is a characterization for the FTTx options described above.

FTTN is considered in cases where the distribution copper infrastructure already exists and the installation of fiber optic cables is not efficient. This option is characterized by limited service quality due to the limited number and speed of connections per cable. The long copper section of the subscriber line requires the use of optical technologies together with VDSL.

In the case of FTTC, copper cables are mainly used inside buildings, which allows for higher transmission speeds. Operators who already use xDSL or cable TV technologies can realize service enhancements and expand capacity.

FTTB solves the problem of bringing optics to offices and apartment buildings. Using twisted-pair cable, it provides high speed access to serve offices and residential areas.

FTTH technology, although expensive, is the most promising among other FTTx technologies due to the highest bandwidth and can meet the growing needs of subscribers for information.

The choice of FTTx technology should take into account several factors, such as the availability of copper distribution infrastructure, ability to pay and population density. FTTN is suitable for business centers and apartment buildings, FTTP is optimal for objects with high solvency, and FTTC/FTTN is suitable for smaller residential objects with a limited concentration of subscribers [8].

In this project, FTTH technology will be used because it offers extremely fast data transmission speeds. This allows you to effectively use the Internet for video conferencing, video streaming, and working with large amounts of data. It is also worth noting the security of the system, as fiber optic cable reliably protects data from unauthorized access. All these advantages make FTTH the best choice for businesses that need high-speed, reliable and secure Internet access.

1.6 PON network topologies

PON (Passive Optical Network) technology uses optical cable to transmit signals directly from a central station to end users. The optical cable is branched into several connections that are routed to individual homes or apartments. Since optical cable provides high data rates and allows signal transmission over long distances without loss of signal quality, PON is one of the most efficient technologies for data transmission.

PON architecture is formed by combining elementary topologies such as star, bus, and tree.

The star topology of computer networks is a structure in which the central element is a switching device to which all computers are connected by separate lines.

This switching device can be presented in the form of a hub (HUB) or a switch. This topology is also called a "passive star". If the switching device is another computer or server, the topology can be called an "active star". This switching device receives signals from each computer, processes them, and transmits them to the other connected computers.

This topology has numerous advantages. One of the most important is the fact that the computers in this network are independent of each other. If one of them breaks down, the other computers can continue to work. In addition, a new computer can be easily connected to such a network, and it does not affect the operation of other network elements. This topology makes it easy to detect problems in the network. However, one of the main advantages of the "star" is its high performance.

Despite all the advantages, such a computer network also has its drawbacks. For example, if the central switching device fails, the entire network will stop working. In addition, there are restrictions on the number of workstations that can be connected, and a limited number of ports on the switching device. And finally, the cost of such a network can be high, as you need to run a lot of cable to connect each computer (see Figure 1.4.1).



Figure 1.4.1 - Network topology – star

A Tree PON topology is a structure in which the optical cable is shaped like a tree, where a single cable comes out of a central station and branches out into multiple cables at each level. This configuration allows you to support more users and efficiently use the optical cable (see Figure 1.4.2).

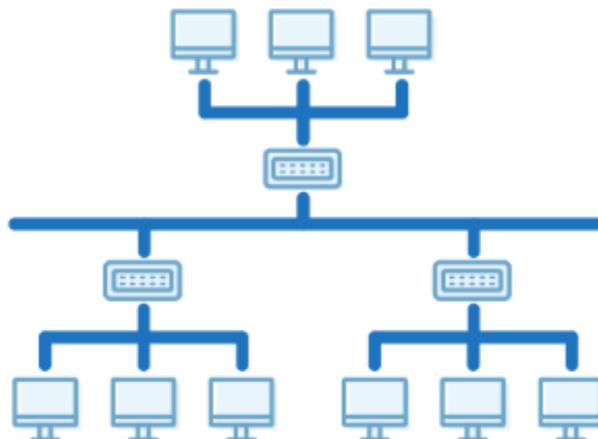


Figure 1.4.2 - Tree topology

The topology of computer networks in the form of a "ring" has no central structure. In this configuration, all workstations and servers are connected in a closed ring. The signal in such a system moves consistently in one direction in a circle. Each computer acts as a repeater, allowing the token signal to go around the circle and transmit it until it reaches its destination.

This form of topology has both advantages and disadvantages. The main advantage is that the network remains stable even under heavy load. Installation and configuration of such a network is very easy and does not require a significant amount of additional equipment.

However, unlike the star topology, in a ring topology, a failure of any connected computer can lead to a failure of the entire system, and it can be difficult to detect the fault. Setting up such a network is quite complicated and requires certain skills. Another disadvantage of this topology is the need to suspend the entire network to connect new equipment (see Figure 1.4.3).

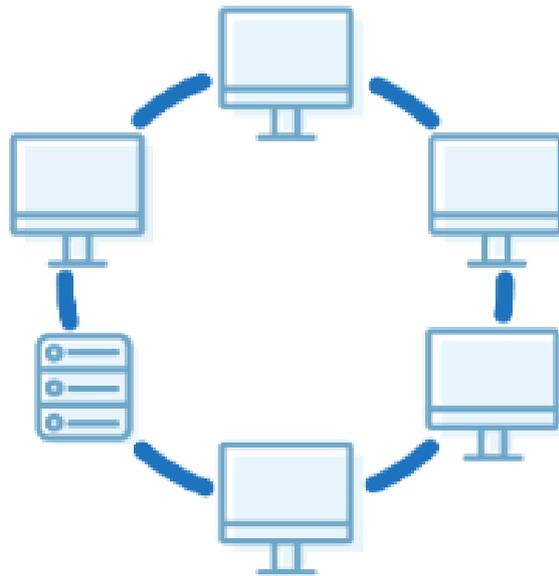


Figure 1.4.3 - Network topology – Ring

Table 1.4.1 shows the advantages and disadvantages of each of the above network topologies.

Table 1.4.1 Advantages of PON network topologies

Topology	Advantages	Disadvantages
Star	Easy installation, easy maintenance, reduced risk of information leakage, flexible management	Limited scalability, high cost of cabling, increased network latency with an increase in the number of users
Tree	Scalability, efficient use of cabling, latency reduction, QoS support	Requires user connection planning, more complex installation and maintenance, no redundancy in case of node failure
Ring	Scalability, latency reduction, QoS support, no single point of failure	Limited scalability, complex installation and maintenance, the need to avoid single-point-of-failure nodes, and the possibility of network management issues

Therefore, the choice of PON network topology is related to the specific situation and user requirements, and it can be made taking into account the advantages and disadvantages of each of these topologies.

For this project, the tree topology was chosen. This choice was made based on an analysis of various factors such as enterprise scale, scalability, traffic management, reliability, equipment management, geographic location, and bandwidth requirements.

Додаток Б

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Розробка оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Студент 601ГГ групи

Швидкий В.Ю.

Керівник:

дтн., професор

Штомпель М.А.

Актуальність роботи полягає в тому, що в контексті швидкого розвитку цифрової трансформації, розробка оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства стає важливою. Оптичні технології забезпечують високу швидкість та надійність зв'язку, сприяючи оптимізації комунікацій та підвищенню продуктивності. Важливо враховувати можливість блекаутів, що підкреслює необхідність розробки оптичного сегменту для забезпечення стійкості телекомунікаційної інфраструктури підприємства.

Метою роботи є розробка оптичного сегменту телекомунікаційної мережі підприємства.

Для виконання поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз технології PON;
- провести вибір мережевого обладнання;
- розробити структурну схему сегмента мережі;
- провести розрахунок оптичного бюджету лінії PON.

Об'єкт дослідження – розробка сегмента мережі.

Предмет дослідження – оптична мережа підприємства.



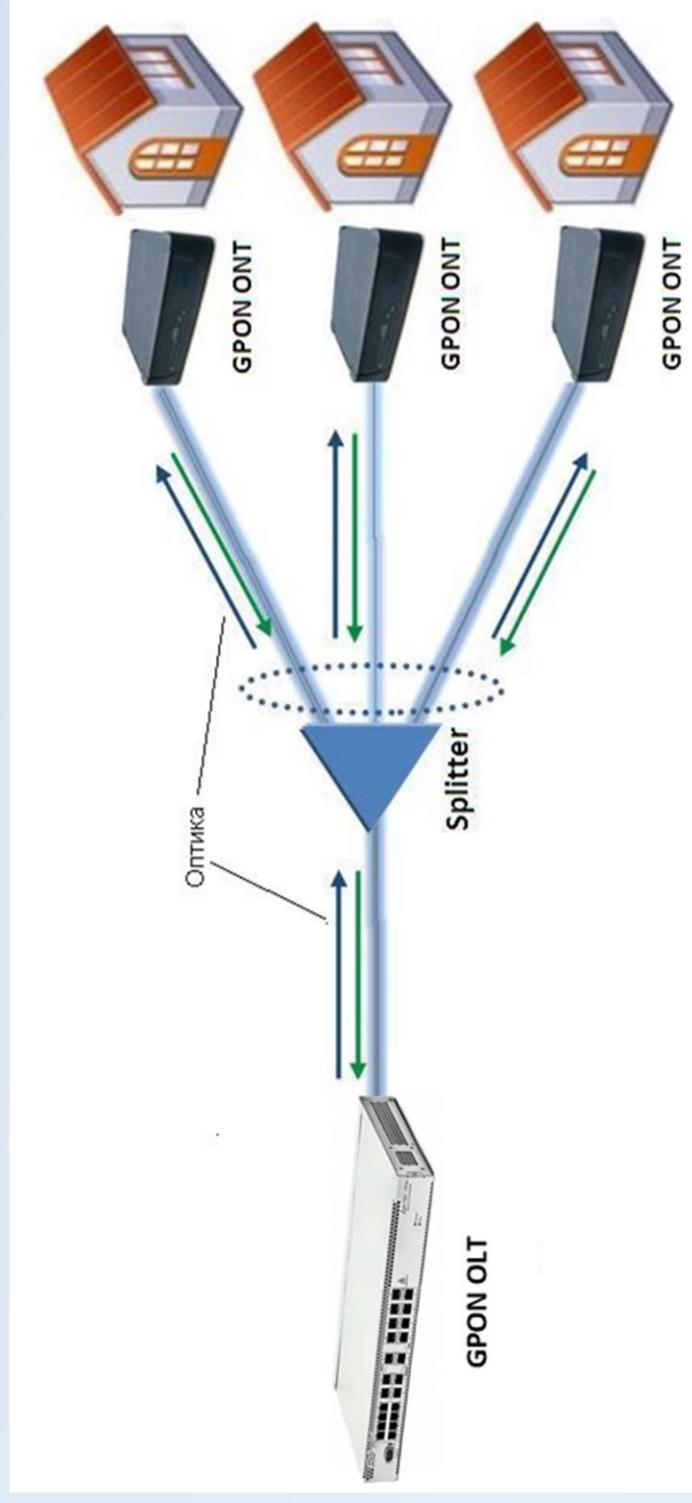
Основи технології PON

PON (Passive optical network) - технологія пасивних оптичних мереж.

Суть технології: між центральним вузлом **OLT** (Optical line terminal) і віддаленими абонентськими вузлами

ONT (Optical network terminal) створюється повністю пасивною оптичною мережа, що має топологію дерева.

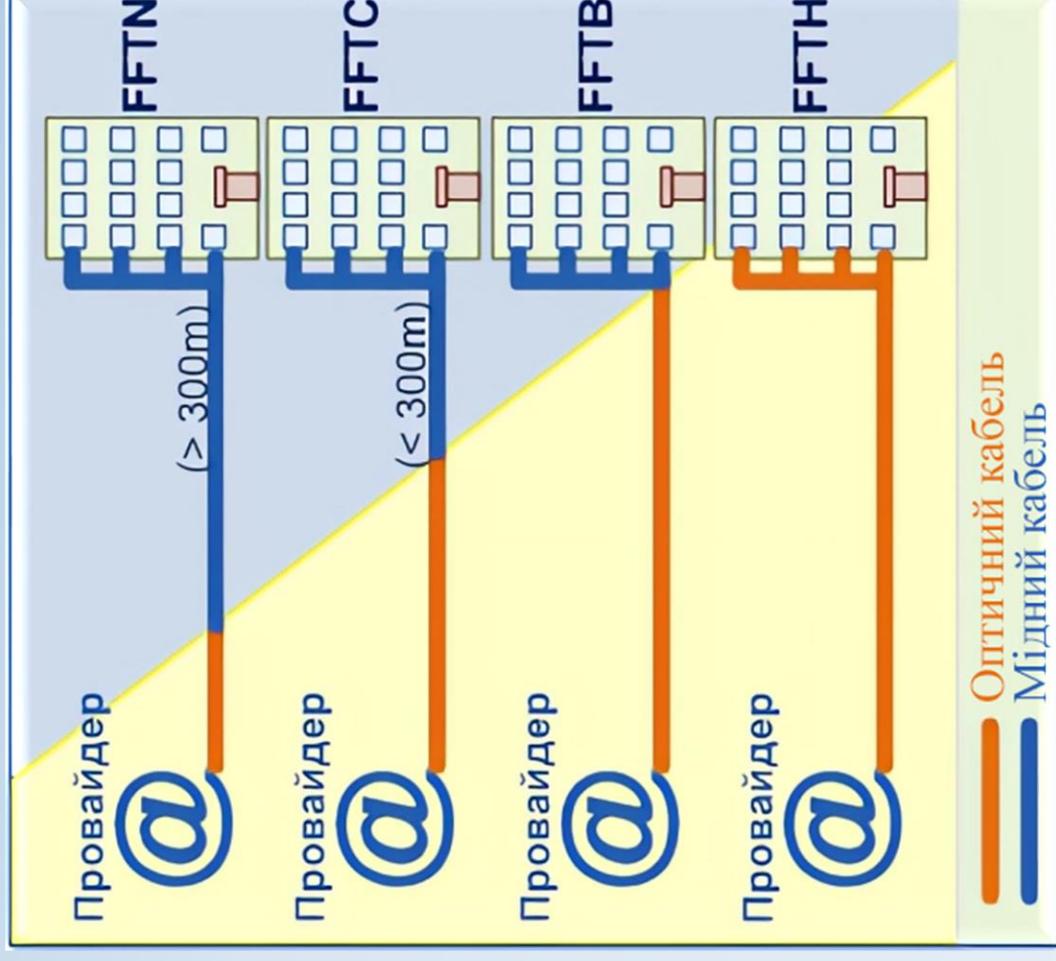
У проміжних вузлах дерева розміщуються пасивні оптичні розгалужувачі (**спліттери**).



Вибір технології FTTx

У сімейство FTTx входять різні види архітектур:

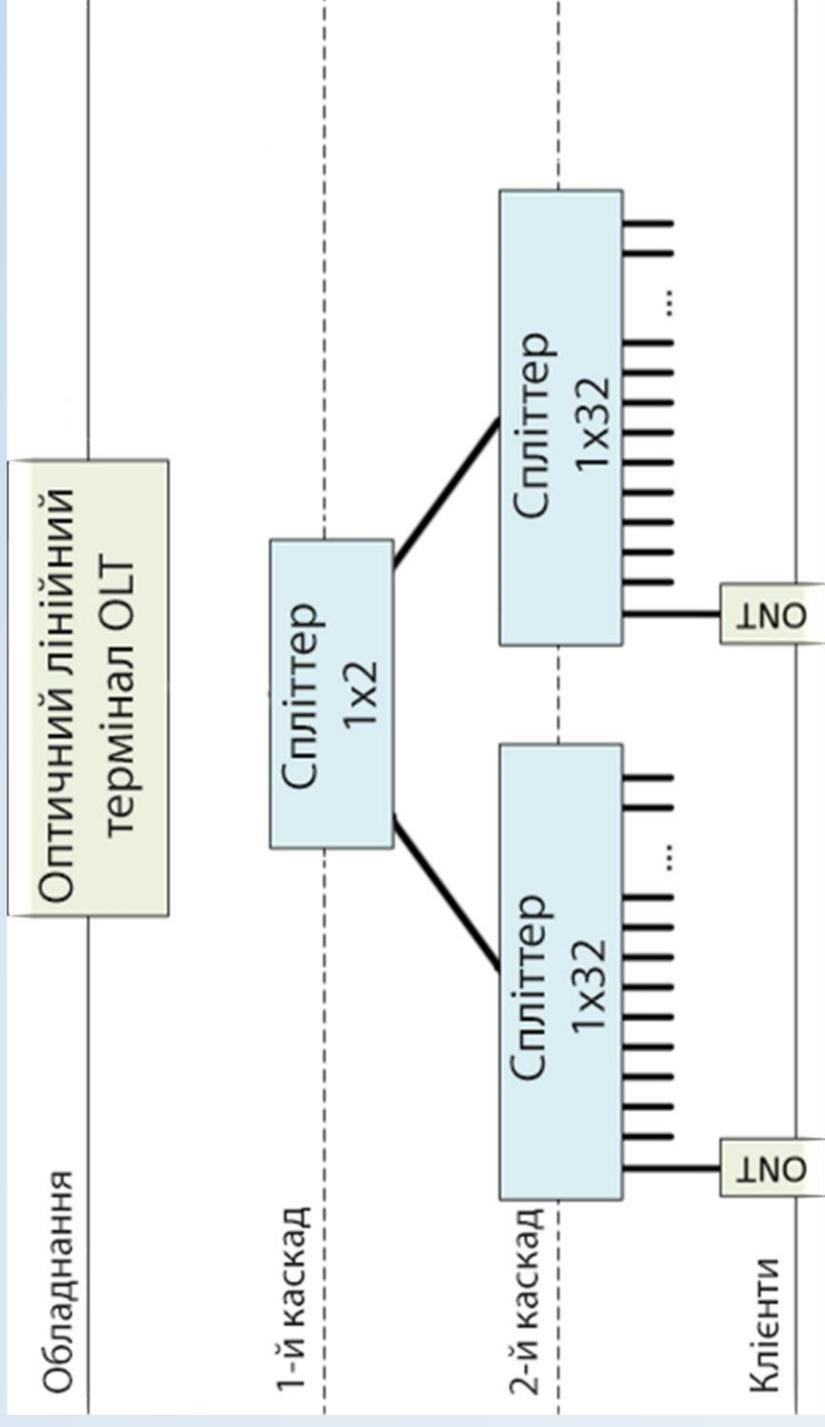
- FTTN (Fiber to the Node) - волокно до мережевого вузла;
- FTTC (Fiber to the Curb) - волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків;
- FTTB (Fiber to the Building) - волокно до будівлі;
- FTTH (Fiber to the Home) - волокно до житла (квартири або окремого котеджу).



Вибір топології

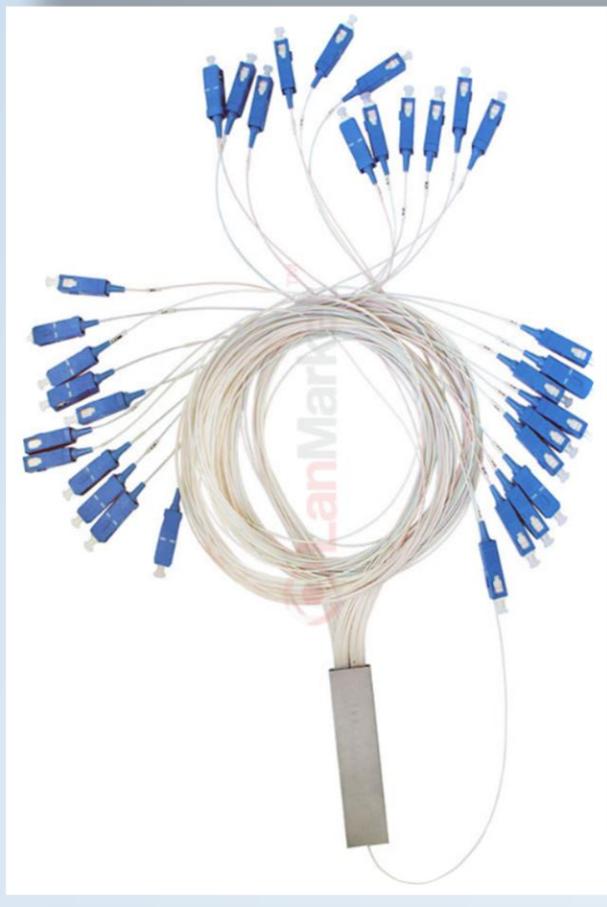
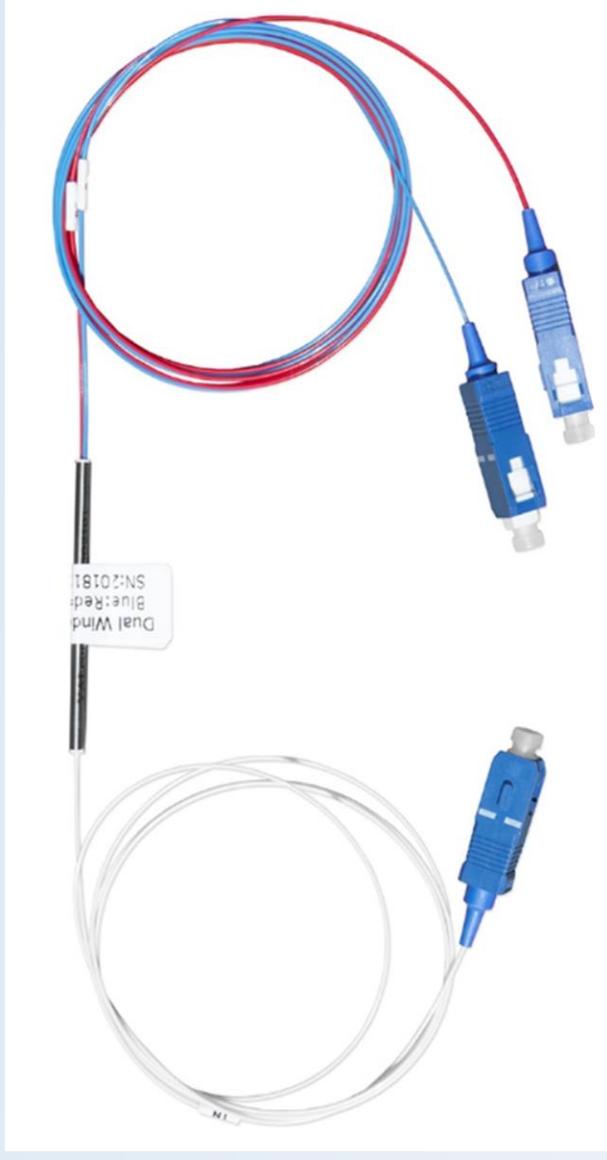
Кількість каскадів у дереві PON може бути будь-якою, єдине обмеження - рамки оптичного бюджету.

Кожен наступний каскад і супутні роз'ємні з'єднання вносять відчутні втрати в сигнал.



Вибір розгалужувачів

У проєктованій мережі, для першого рівня каскаду було вибрано оптичний розгалужувач ІРСОМ COUPLER FBT 1X2 1310/1550-30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M з несиметричним розподілом потужності, а для другого застосовано планарний розгалужувач з рівномірним коефіцієнтом розподілу 1x32 - PLC Splitter 1x32, SC/UPC, 900 um, G657A FiberField.



Розрахунок оптичного бюджету лінії PON

7

На кожній ділянці розрахунок загасання здійснено за формулою:

$$A_x = L_x \times \alpha + N_{pz-x} \times A_{pz} + N_{zz} \times A_{zz},$$

де L_x – довжина лінії від ONU-X до ОР каскаду;

α – коефіцієнт згасання на розрахунковій довжині хвилі;

N_{pz-x} – кількість роз'єднань на ділянці x;

A_{pz} – згасання одного роз'єднання;

N_{zz-x} – кількість зварних з'єднань на ділянці x,

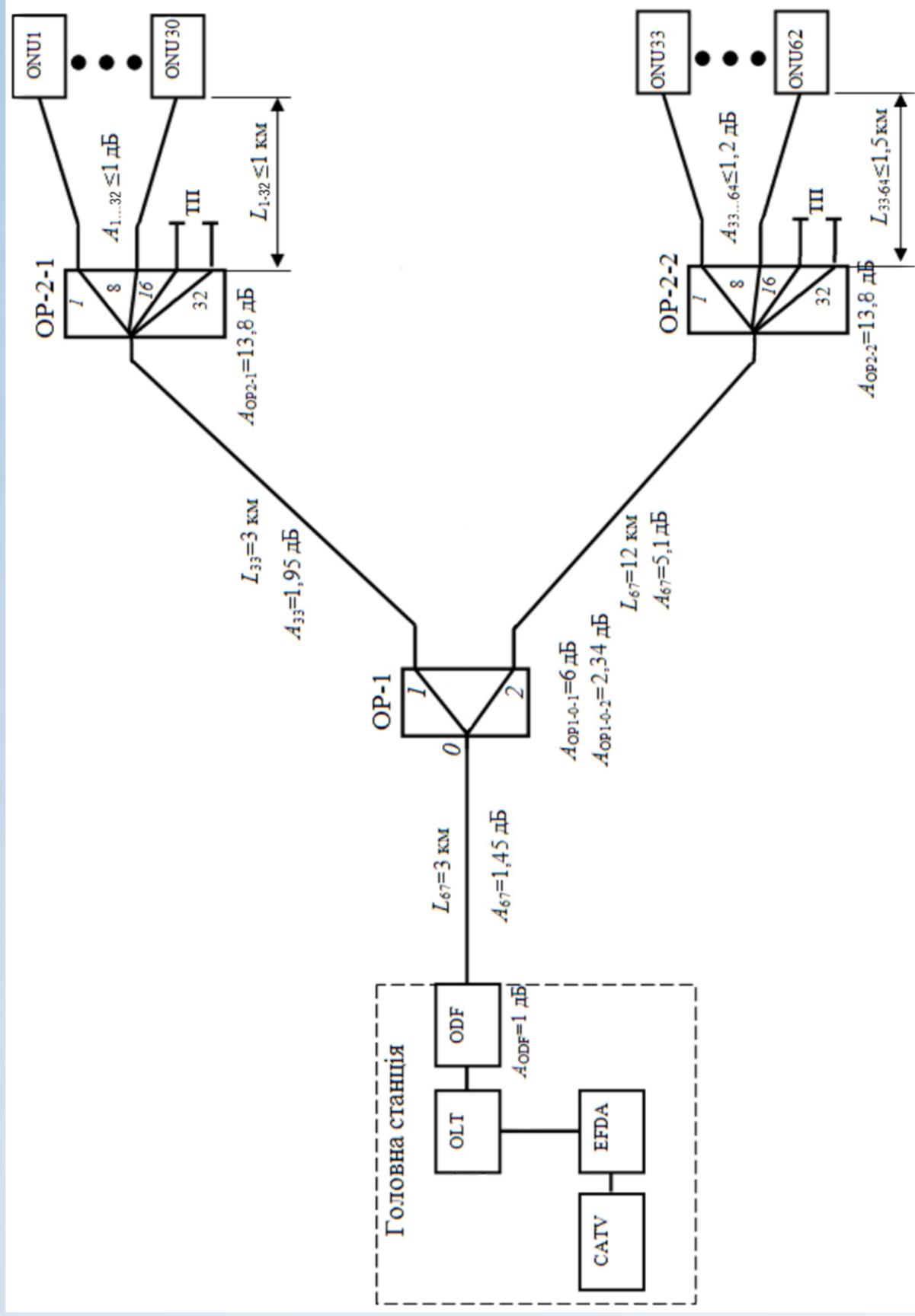
A_{zz} – згасання одного зварного з'єднання (у розрахунках можна прийняти рівним 0,1 дБ).

Після розрахунку оптичний бюджет втраг становить 25,2 дБ.

Експлуатаційний запас визначається як різниця між максимальним та розрахованим оптичним бюджетом втраг:

$$A_{зап} = 28 - 25,2 = 2,8 \text{ дБ.}$$

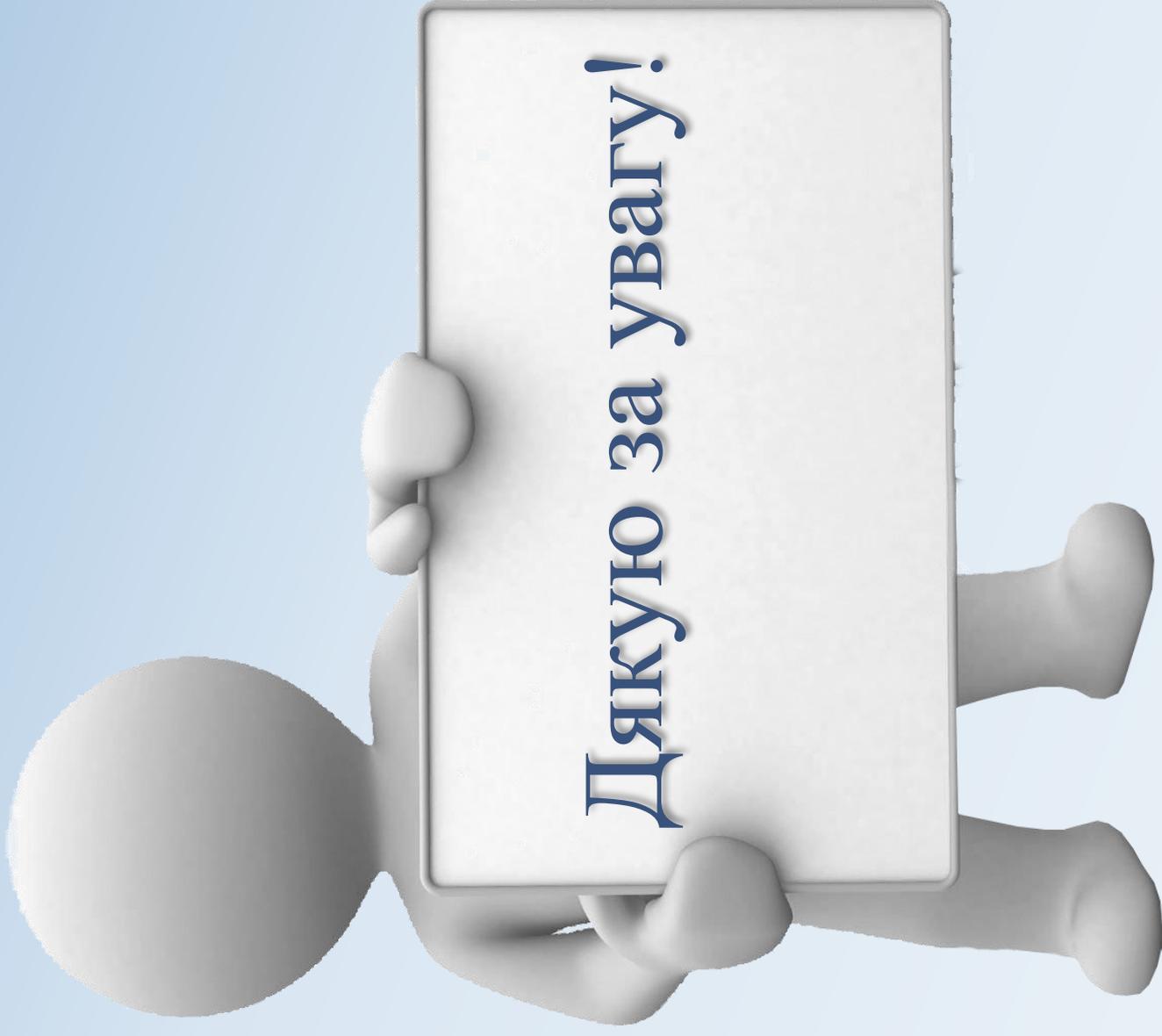
Структурна схема сегмента мережі PON для розрахунку бюджету втрат



Висновки

У кваліфікаційній роботі було розроблено оптичний сегмент телекомунікаційної мережі підприємства. У роботі було проведено детальний аналіз технології PON, обрано GPON як найбільш оптимальний варіант, розглянуто проектування оптичної мережі, обрано технологію FTTH і топологію дерево, зроблено вибір обладнання мережі PON, розглянуто стратегії обслуговування, створено структурну схему мережі та проведено розрахунок оптичного бюджету лінії PON.

Результати роботи показали, що розроблений оптичний сегмент телекомунікаційної мережі відповідає вимогам підприємства і готовий до впровадження та експлуатації.



Дякую за увагу!

Додаток В

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції

**«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»**

10 листопада 2023 року



Полтава 2023

Н.В. Єрмілова, Ю.С. Ярошенко МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ БУРОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЕЛЕКТРОБУРІННЯ.....	124
М.А. Штомпель, В.Ю. Швидкий АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ.....	126
В.Д. Рубан ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ. КЛЮЧОВІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТА ВИКЛИКИ.....	128
В.О. Янковський ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ.....	131
П.Є. Пустовойтов, В.С. Бреславець, Д.В. Удалов, Г.Ю. Мартиненко КОНЦЕПЦІЯ ДЕНОРМАЛІЗАЦІЇ БАЗИ ДАНИХ У РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	132
А.В. Трет'як, Д.А. Здоровченко ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ.....	133
В.В. Гавриленко, А.В. Огарков ІНСТРУМЕНТАРІЙ РОЗРОБКИ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	137

УДК 621.396

Штомпель М.А, д.т.н., професор,

Швидкий В.Ю, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

Сучасний світ неможливо уявити без інформаційних технологій. Вони проникли в усі сфери життя людини, від освіти і науки до бізнесу і розваг. Інформаційні технології змінили спосіб, яким ми спілкуємося, працюємо, навчаємося і навіть проводимо вільний час. Одним з ключових елементів інформаційних систем є мережі передачі даних.

Мережі передачі даних - це системи, які забезпечують обмін інформацією між різними пристроями. Вони можуть бути дротовими або бездротовими, локальними або глобальними. Особливе місце серед них посідають пасивні оптичні мережі (Passive Optical Network, PON).

Гігабітний доступ GPON (Gigabit Passive Optical Network) є типом точка-багатоточкової оптичної мережі, де пасивні розгалужувачі в оптичному волоконному розподільному каналі відіграють ключову роль. Ця технологія дозволяє ефективно використовувати одне оптичне волокно, що походить від центрального офісу постачальника, для обслуговування кількох будинків і невеликих підприємств.

Основна особливість GPON полягає у використанні пасивних розгалужувачів (Splitter) в оптоволоконній розподільній мережі (ODN). Пасивні розгалужувачі не вимагають живлення, тому GPON є економічним і надійним рішенням для побудови великих мереж доступу.

З іншого боку, WDM-PON, що означає пасивну оптичну мережу з мультиплексуванням з поділом по довжині хвилі, є технологією мережі доступу з потенціалом для трансформаційних змін в інфраструктурі операторів зв'язку. WDM-PON представляє логічну архітектуру "точка-точка", засновану на принципах, що базуються на довжині хвилі, яка накладається на фізичну топологію "точка-багатоточка". Цей інноваційний підхід використовує технології мультиплексування і демultipлексування WDM для розділення сигналів даних на окремі вихідні сигнали, які можуть бути пов'язані з різними будівлями або домогосподарствами. Таке апаратне розділення трафіку надає клієнтам переваги, притаманні безпечним і масштабованим з'єднанням "точка-точка", дозволяючи при цьому операторам підтримувати надзвичайно низьку кількість волокон. Як наслідок, це призводить до значного зниження експлуатаційних витрат. У сучасному мережевому ландшафті WDM-PON стає ключовою технологією, особливо в контексті розвитку магістральної інфраструктури 5G [1].

XG-PON, яку також називають 10G-PON, являє собою вдосконалення технології GPON, пропонуючи основу для переходу на швидкість прийому сигналу 10 Гбіт/с для низхідних користувачів і 2,5 Гбіт/с для висхідних користувачів. У контексті XG-PON низхідний сигнал для кінцевих користувачів

працює в спектральному діапазоні від 1575 нм до 1580 нм, тоді як висхідний сигнал для користувачів знаходиться в діапазоні від 1260 нм до 1280 нм. Ця технологія, 10G-PON, повністю повторює архітектуру "точка-багатоточка" (P2MP), характерну для GPON, і демонструє універсальність у застосуванні різних сценаріїв доступу, включаючи, але не обмежуючись ними: fiber to the home (FTTH), fiber to the building (FTTCell), fiber to the building (FTTB), fiber to the curb (FTTCurb), і fiber to cabinet (FTTCabinet) [2].

Таблиця 1 – Порівняння технічних характеристик GPON, XG-PON та WDM-PON

	GPON	XG-PON	WDM-PON
Висхідний потік (nm)	1260-1360	1260-1280	Множина
Низхідний потік (nm)	1480-1500	1575-1580	Множина
Швидкість висхідної лінії	1.2Gbps	2.5/10Gbps	1Gbps
Швидкість низхідної лінії	2.5Gbps	10Gbps	1Gbps
Співіснування GPON	Ні	Так	Так

Отже, вибір технології PON залежить від конкретних потреб оператора телекомунікацій. Якщо оператору потрібна максимальна пропускна здатність, то він повинен вибрати WDM-PON. Якщо оператору потрібна недорога технологія з хорошим співвідношенням ціни та якості, то він повинен вибрати GPON. Якщо ж потрібна технологія з пропускною здатністю, яка вище, ніж у GPON, але нижче, ніж у WDM-PON, то він повинен вибрати XG-PON.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Розорінов Г.М. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку. Навчальний посібник / Г.М. Розорінов, Д.О. Соловйов. – [Б. м.] : Ліра К, 2014. – 196 с.
2. WDM-PON vs GPON vs XG-PON | FS Community [Електронний ресурс] // Knowledge. – Режим доступу: <https://community.fs.com/article/wdm-pon-versus-gpon-and-xg-pon.html> (дата звернення: 26.9.2023).

ANALYSIS OF PASSIVE OPTICAL NETWORK TECHNOLOGIES

M. Shtompel, Doctor of Technical Sciences, Professor,

V. Shvydkyi, master student

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Додаток Г

Швидкий В.Ю., *магістрант, група 601-ТТ*
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

Керівник – проф. М.А. Штомпель

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ПІД ЧАС БЛЕКАУТУ В УКРАЇНІ

Пасивні оптичні мережі (PON) є ключовим елементом сучасних телекомунікаційних систем, що забезпечують високошвидкісний доступ до Інтернету. Вони використовуються для підтримки різноманітних сервісів, включаючи широкосмуговий доступ до Інтернету, телефонію, телебачення тощо.

В даній роботі аналізуються особливості роботи PON під час блекауту. Для цього використовуються методи математичного моделювання. Розглядаються різні сценарії роботи мережі в умовах відсутності електроенергії, а також можливості її відновлення. Особлива увага приділяється аналізу ефективності застосування резервних джерел живлення та стратегій управління енергоспоживанням.