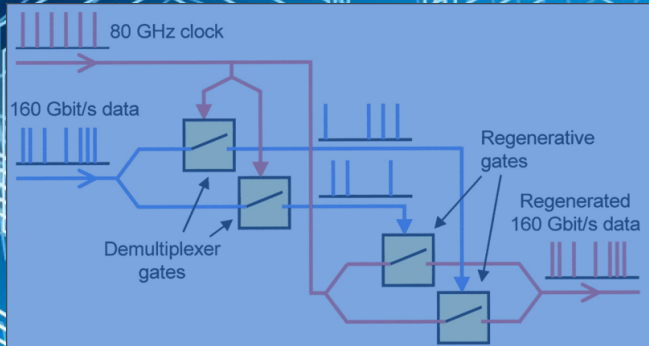
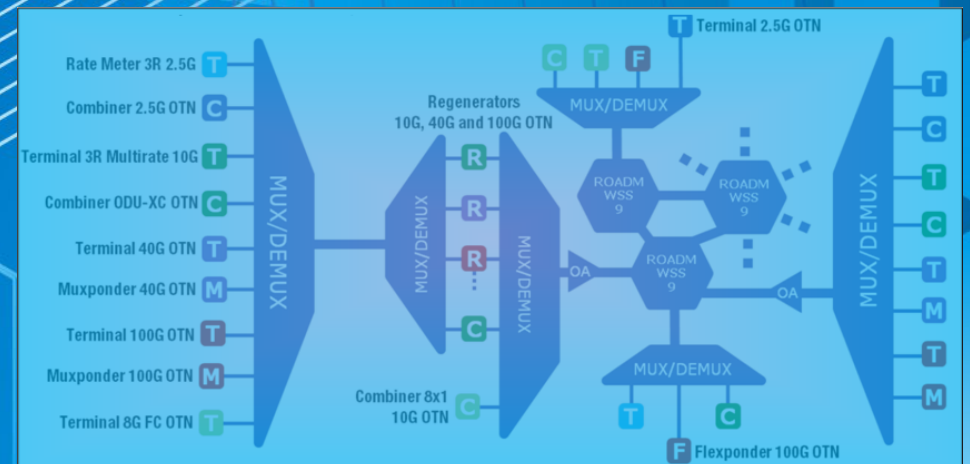


Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак



ТРАНСПОРТНІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак

ТРАНСПОРТНІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2019

УДК 621.391(075)

Б21

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 25.04.2019 р.)

Рецензенти:

А. Г. Ложковський, доктор технічних наук, професор

В. А. Лужецький, доктор технічних наук, професор

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

Бортник, Г. Г.

Б21 Транспортні інфокомунікаційні системи : лабораторний практикум / Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 139 с.

У лабораторному практикумі наведено основні принципи побудови та використання волоконно-оптичних цифрових систем передавання з урахуванням сучасних технологій мультиплексування та обладнання оптичних транспортних мереж. Розглянуто структури, параметри та характеристики основних вузлів та блоків інфокомунікаційних систем передачі на основі волоконної оптики. Детально розглянуто особливості налаштування та керування роботою оптичних мультиплексорів PDH-ієрархії. Практикум призначений для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка».

УДК 621.391(075)

©ВНТУ, 2019

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| Перелік скорочень | 4 |
| Передмова | 5 |
| Основні вимоги до виконання лабораторних робіт та до оформлення звіту | 9 |
| Лабораторна робота № 1 Дослідження роботи оптичного мультиплексора FOM-16..... | 12 |
| Лабораторна робота № 2 Дослідження системи моніторингу оптичного мультиплексора FOM-16..... | 22 |
| Лабораторна робота № 3 Дослідження роботи оптичного мультиплексора FMUX-01A | 31 |
| Лабораторна робота № 4 Дослідження системи моніторингу оптичного мультиплексора FMUX-01A | 47 |
| Лабораторна робота № 5 Дослідження основних параметрів ВОЛТ за допомогою програми OptiPerformer 15..... | 59 |
| Лабораторна робота № 6 Дослідження основних параметрів ВОЛЗ та джерел оптичних сигналів у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15 | 77 |
| Лабораторна робота № 7 Дослідження основних характеристик електрооптичного модулятора Маха-Цандера у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15 | 103 |
| Лабораторна робота № 8 Дослідження характеристик ербієвого та раманівського оптичних підсилювачів у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15 | 114 |
| Список літератури | 137 |
| Додаток А Зразок титульного листа до звіту з лабораторної роботи..... | 138 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

DEMUX – демультимплексор
ISO – International Organization for Standardization – Міжнародна організація зі стандартизації
ITU – International Telecommunication Union – Міжнародний союз електророзв'язку
LA – Linear Amplifier – лінійний оптичний підсилювач
OTDM – Optical Time Division Multiplexing – оптичне часове ущільнення
OTM – Optical Transport Module – оптичний транспортний модуль
OTN – Optical Transport Network – оптична транспортна мережа
PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy – плезіохронна цифрова ієрархія
QAM – Quadrature Amplitude Modulation – квадратурна амплітудна модуляція
QPSK – Quaternary Phase-Shift Keying – квадратурна фазова модуляція
WDM – Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з розділенням за довжинами хвиль (спектральне ущільнення)
WM – Wavelength Multiplexing – хвилевий мультиплексор
АЧХ – амплітудно-частотна характеристика
ВОК – волоконно-оптичний кабель
ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку
ВОЛТ – волоконно-оптичний лінійний тракт
ВОСПІ – волоконно-оптична система передавання інформації
ВСШ – відношення сигнал/шум
ЕОП – електрооптичний перетворювач
ЛД – лазерний діод
ЛФД – лазерний фотодіод
МД – модова дисперсія
ОВ – оптичне волокно
ОЕП – оптоелектронний перетворювач
ОК – оптичний кабель
ОП – оптичний підсилювач
ОТ – оптичний тракт
ОТМ – оптична транспортна мережа
ОТС – оптична транспортна система
ОТСМ – оптичні транспортні системи та мережі
ПК – персональний комп'ютер
ПЦІ – плезіохронна цифрова ієрархія
ПЦП – первинний цифровий потік
СД – світлодіод
СРК – спектральний розподіл каналів
ТКС – телекомунікаційна система
ТМ – транспортна мережа
ЦСП – цифрова система передавання

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Оптичні транспортні системи та мережі» відноситься до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки студентів освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Вона вивчається в другому семестрі, тобто після викладання нормативних дисциплін професійної підготовки.

Основною метою дисципліни є формування теоретичної бази, практичних навичок та уявлень про: структуру оптичних цифрових телекомунікаційних мереж; призначення та будову компонентів оптичних транспортних систем; принципи контролю та управління оптичною транспортною мережею; методи та засоби вимірювань параметрів оптичної транспортної мережі.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні: знати матеріал програми курсу «Оптичні транспортні системи та мережі», будову транспортної мережі, методи контролю роботи та усунення пошкоджень оптичної транспортної системи, методи вимірювання параметрів оптичних трактів цифрових систем передачі; володіти системотехнічним матеріалом; вміти логічно та послідовно викласти засвоєний ним матеріал, використовувати під час відповіді карти, схеми, діаграми та інші унаочнення, робити самостійні науково обґрунтовані висновки та узагальнення, аргументовано відстоювати свою точку зору та міркування, синтезувати структури багатоканальних систем передачі інформації з часовим і спектральним розділенням каналів, оцінювати характеристики та параметри основних компонентів ОТСМ, визначати основні показники ефективних і завадостійких кодів.

Вивчення дисципліни базується на матеріалі попередніх дисциплін «Теорія електричних кіл і сигналів», «Теорія електрозв'язку», «Основи схемотехніки», «Технічна електроніка», «Цифрова обробка сигналів».

Ця дисципліна є основою для вивчення таких дисциплін: «Системи комутації в електрозв'язку», «Системи зв'язку з рухомими об'єктами», «Системи документального електрозв'язку», «Телекомунікаційні та інформаційні мережі», «Технічне обслуговування телекомунікаційних систем та мереж», «Телекомунікаційні системи NGN та мультисервісні системи наступних поколінь», «Сигналізація та комутація в ТКС», «Системи доступу», «Планування та проектування ТКС», «Алгоритми управління та адаптації в ТКС».

Лабораторний практикум охоплює такі розділи дисципліни.

Змістовий модуль 1. Принципи побудови оптичних транспортних систем та мереж

Тема 1. Основні задачі та принципи побудови оптичних транспортних мереж. Типи оптичних транспортних мереж та особливості їх розвитку. Будова узагальненої структури оптичної системи передачі. Оптичні транспортні мережі на базі спектрального розподілу каналів. Структура оптичної транспортної ієрархії. Будова волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Тема 2. Структура оптичних цифрових телекомунікаційних мереж. Загальний опис моделей оптичних транспортних мереж. Модель транспортної мережі синхронної ієрархії. Модель оптичної транспортної мережі оптичної ієрархії. Архітектура оптичної мультисервісної транспортної платформи. Конфігурація однохвильових ВОСП-СЦІ. Оптичні транспортні системи з оптичним часовим ущільненням. ВОСПІ на базі xWDM. Топології оптичної мережі доступу.

Тема 3. Характеристика ключових компонентів оптичних транспортних систем. Структура мережного елемента оптичної транспортної мережі. Основні типи компонентів ВОСПІ. Лінійні інтерфейси оптичних транспортних мереж. Інтерфейси однохвильових оптичних систем передачі. Інтерфейси багатохвильових оптичних систем передачі. Особливості використання багатохвильових інтерфейсів.

Тема 4. Технології мультиплексування в оптичних транспортних мережах. Оптичне мультиплексування низької щільності. Оптичне мультиплексування високої щільності. Архітектура DWDM-систем. Частотний план DWDM-систем. Використання DWDM-систем. Параметри технології CWDM-систем. Частотний план CWDM-систем. Умови використання CWDM-технологій.

Тема 5. Оптичні мультиплексори та демультиплексори. Призначення компонентів xWDM. Будова та використання DWDM мультиплексорів. Основні типи оптичних мультиплексорів та демультиплексорів. Динамічні оптичні мультиплексори введення/виведення. Основні типи термінальних мультиплексорів. Термінальний мультиплексор з лінійними портами WDM. Мультиплексори введення/виведення з електричними та оптичними закінченнями ADM. Оптичний мультиплексор з функціями OADM/ROADM/OXC. Технологія оптичної транспортної мережі оптичної ієрархії.

Тема 6. Принципи будови та використання динамічних мультиплексорів. ROADM на основі дискретних компонентів. ROADM на основі хвильових блокіраторів. ROADM з використанням комутаторів типу MEMS. ROADM на базі PLC. ROADM на базі WSS. Оптичні кросові комутатори PXC. Компоненти ROADM. Порівняльна оцінка та рекомендації з використання мультиплексорів ROADM.

Тема 7. Пасивні оптичні компоненти ВОСПІ. Волоконно-оптичні розгалужувачі та об'єднувачі. Оптичні з'єднувачі. Волоконно-оптичні кому-

татори та перемикачі. Крос-комутатори оптичних каналів. Оптичні ізолятори. Волоконно-оптичні лінії затримки.

Тема 8. Технології оптичних мереж доступу. Мікро-мережа SDH. Активні мережі Ethernet. Пасивні оптичні мережі. Гібридні волоконно-коаксіальні мережі. Принципи побудови оптичних мереж доступу. Особливості проектування оптичних мереж доступу. Особливості проектування гібридної мережі доступу.

Тема 9. Компенсація хроматичної дисперсії в ВОЛЗ. Необхідність компенсації дисперсії в ВОЛЗ. Загальна характеристика основних типів компенсаторів хроматичної дисперсії. Волоконні розподілені компенсатори дисперсії. Дискретні компенсатори на Бреґівських решітках. Динамічні компенсатори дисперсії.

Змістовий модуль 2. Контроль та управління оптичних транспортних систем та мереж

Тема 10. Лінійні тракти оптичних транспортних систем. Базові структури лінійних трактів оптичних систем передачі. Вимоги до лінійних трактів систем із спектральним ущільненням. Математичне моделювання процесів в ВОСП. Оцінювання швидкодії компонентів ВОСП. Програма розрахунку параметрів інерційності ВОЛТ. Регенерування сигналів в ВОСП. Структура лінійного ретранслятора в ВОСП. Будова оптичних регенераторів. Типи оптичних ретрансляторів та хвильових конвертерів. Лінійний регенератор СЦ. Особливості оптичних транспондерів. Оптичні трансивери.

Тема 11. Лінійні коди ВОСП та оцінювання їх параметрів. Основні вимоги до лінійних сигналів ВОСП. Лінійні коди в системах ВОЛЗ ПЦ. Лінійні сигнали однохвильових оптичних систем передачі. Класифікація лінійних кодів ВОСП СЦ та їх характеристика. Формування скрембльованого лінійного сигналу. Лінійні сигнали в класі кодів 1В2В. Формування лінійних сигналів в класі кодів nВmВ. Корекція помилок в оптичних системах передачі.

Тема 12. Активні квантово-електронні та волоконно-оптичні компоненти ОТМ. Загальна характеристика підсилювачів в ОТМ. Будова ербієвих волоконних підсилювачів. Особливості використання ербієвих підсилювачів. Будова рамановських підсилювачів. Особливості використання рамановських підсилювачів. Характеристика джерел оптичного випромінювання. Модулятор Маха-Цендера. Передавальні оптичні модулі. Типи оптичних модуляторів. Умови використання оптичних приймачів. Оптичні приймачі з прямим детектуванням сигналів. Оптичні приймачі з когерентним детектуванням сигналів. Приймальні оптичні модулі.

Тема 13. Архітектури оптичних транспортних мереж. Основні типи структур транспортних мереж. Конфігурації основних вузлів оптичної

транспортної мережі. Конфігурації вузлів на базі одномодульних ROADMs. Панелі крос-комутації. Схеми захисту секції мультиплексування. Захисні переключення в мережі WDM. Захисні переключення в транспортній мережі Ethernet. Підсистема захисту оптичних каналів за принципом 1+1.

Тема 14. Оптичні транспортні мережі на основі динамічних мультиплексорів. Магістральні мережі. Регіональні мережі. Міські мережі. Мережі доступу. Лінійна архітектура мережі. Кільцева архітектура мережі. Коміркова архітектура мережі. Змішана архітектура мережі на основі ROADMs.

Тема 15. Синхронізація в оптичних транспортних мережах. Нормування проковзувань. Нормування фазових дрижань (ФДр) відносно проковзувань. Типи джерел синхросигналів. Принципи розподілу тактового синхронізму. Будова систем тактової синхронізації. Ієрархія джерел синхронізації. Характеристики джерел синхросигналів. Канали розподілу синхросигналів. Вплив оптичних каналів на якість каналів синхронізації. Норми на ФДр на виході оптичних інтерфейсів. Допустиме ФДр на вході оптичних інтерфейсів. Підсистема тактової синхронізації обладнання ONS15454. Склад обладнання транспортної платформи ONS15454. Структура підсистеми синхронізації платформи. Схеми тактової синхронізації. Зовнішні вихідні порти синхронізації.

Тема 16. Визначення параметрів оптичних каналів. Методика розрахунку параметрів каналів оптичної мережі типу «лінійна ланка». Діаграма рівнів оптичного каналу та точки контролю OSNR. Методика розрахунку параметрів каналів «кільцевої» оптичної мережі.

Тема 17. Система контролю та керування оптичною транспортною мережею. Принципи керування мережами зв'язку. Основні функції системи керування транспортними мережами. Функціональна ієрархія систем керування транспортною мережею. Структура системи керування транспортною мережею. Вимірювання основних параметрів компонентів ВОСП. Системні вимірювання. Види вимірювань в багатохвильових системах передачі. Вимірювання параметрів оптичних підсилювачів. Основні типи вимірювань параметрів оптичного волокна.

Тема 18. Тестування та моніторинг ВОСП. Тестування та моніторинг однохвильових однопролітних ВОСП. Тестування та моніторинг багатопролітних ВОСП-СР. Принципи вимірювання спектральних параметрів. Принципи вимірювання та контролю середньої оптичної потужності в ВОСП-СР. Визначення Q-фактора в ВОСП-СР. Метод безперервного контролю багатопролітних ВОСП-СР.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Перед виконанням лабораторних робіт потрібно ознайомитись з матеріалом, викладеним в цьому лабораторному практикумі та в рекомендованій до відповідної роботи літературі. До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки при роботі в навчальній лабораторії з відповідними підписами в журналі інструктажу, виконали домашнє завдання до конкретної лабораторної роботи та виявили необхідну ступінь теоретичної підготовки.

Захист проводиться на основі звітів до лабораторних робіт в обсязі, зазначеному в лабораторному практикумі та оформлених згідно з вимогами ДСТУ. Звіт з лабораторної роботи готується один на бригаду.

Зразок титульного листа звіту до лабораторної роботи наведено у додатку А. У звіті необхідно вказати назву та мету лабораторної роботи, навести склад лабораторного устаткування, подати методику виконання експериментальних досліджень.

Основна частина звіту містить усі необхідні розробки та обґрунтування прийнятих рішень, які супроводжуються відповідними розрахунками (зокрема й за допомогою ЕОМ), ілюстраціями, результатами власних експериментальних та теоретичних досліджень.

Всі формули у звіті нумерують арабськими цифрами. Номер вказують в круглих дужках з правої сторони, в кінці рядка, на рівні закінчення формули.

Наприклад,

Таким чином, пропускна здатність каналу

$$C_n = F \log_2(1+S/N), \quad (1)$$

де F – смуга робочих частот;

S/N – відношення сигнал/шум.

Одиницю вимірювання, за необхідності, наводять в квадратних дужках

$$I = \frac{U}{R} [A]. \quad (2)$$

Числову підстановку і розрахунок виконують з нового рядка не нумеруючи. Одиницю вимірювання наводять в круглих дужках. Наприклад,

$$I = \frac{220}{100} = 2,2 (A).$$

Розмірність одного й того ж параметра в межах документа повинна бути однаковою. Якщо формула велика, то її можна переносити в наступні рядки. Перенесення виконують тільки математичними знаками, повторюючи знак на початку наступного рядка. При цьому знак множення «•» замінюють знаком «×».

Формула є частиною речення, тому до неї застосовують такі ж правила граматики, як і до інших членів речення. Якщо формула знаходиться в кінці речення, то після неї ставлять крапку. Формули, які йдуть одна за одною і не розділені текстом, розділяють комою.

Посилання на формули в тексті подають в круглих дужках за формою: «... в формулі (2)»; «... в формулах (7, ... ,10)».

Для пояснення викладеного тексту рекомендується його ілюструвати графіками, кресленнями, фрагментами схем та ін., які можна виконувати чорною тушшю, простим олівцем середньої твердості та комп'ютерною графікою. Розміщують ілюстрації в тексті звіту.

В тексті ілюстрацію розміщують симетрично до тексту після першого посилання на неї або на наступній сторінці, якщо на цій вона не вміщується без повороту.

На всі ілюстрації в тексті звіту мають бути посилання. Посилання виконують за формою: «...показано на рисунку 1» або в дужках за текстом (рисунком 1), на частину ілюстрації: «... показані на рисунку 2, б». Посилання на раніше наведені ілюстрації подають зі скороченим словом *дивись* (див. рисунок 3).

Між ілюстрацією та текстом пропускають один рядок (3 інтервали). Всі ілюстрації в ПЗ називають рисунками і позначають під ілюстрацією симетрично до неї за такою формою: «Рисунок 5 – Найменування рисунка». Крапку в кінці не ставлять, знак переносу не використовують. Якщо найменування рисунка довге, то його продовжують у наступному рядку, починаючи від найменування.

Таблицю розміщують симетрично до тексту після першого посилання на цій сторінці або на наступній, якщо на цій вона не вміщується, і таким чином, щоб зручно було її розглядати без повороту або з поворотом на кут 90° за годинниковою стрілкою.

На всі таблиці мають бути посилання за формою: «наведено в таблиці 1»; «... в таблицях 1 – 5» або в дужках по тексту (таблиця 6). Посилання на раніше наведену таблицю подають зі словом *дивись* (див. табли-

цю 4) за ходом чи в кінці речення.

Таблицю розділяють на графи (колонки) та рядки. В верхній частині розміщують шапку таблиці, в якій вказують найменування граф. Діагональне ділення шапки таблиці не допускається. Ліву графу (боковик) часто використовують для найменування рядків. Допускається не розділяти рядки горизонтальними лініями. Мінімальна відстань між основами рядків – 8 мм. Розміри таблиці визначаються обсягом матеріалу.

Таблиці нумерують в межах звіту і позначають зліва над таблицею за формою: «Таблиця 2 – Найменування таблиці». Крапку в кінці не ставлять. Якщо найменування таблиці довге, то продовжують у наступному рядку, починаючи від слова «Таблиця».

Таблиця може бути великою як в горизонтальному, так і в вертикальному напрямках або іншими словами може мати велику кількість граф і рядків. В таких випадках таблицю розділяють на частини і переносять на інші сторінки або розміщують одну частину під іншою чи поряд.

Якщо частини таблиці розміщують поряд, то в кожній частині повторюють шапку таблиці, а при розміщенні однієї частини під іншою – повторюють боковик. Якщо в кінці сторінки таблиця переривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частині таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю, не проводять.

При перенесенні частин таблиці на інші сторінки, повторюють або продовжують найменування граф. Допускається виконувати нумерацію граф на початку таблиці і при перенесенні частин таблиці на наступні сторінки повторювати тільки нумерацію граф.

У всіх випадках найменування (за його наявності) таблиці розміщують тільки над першою частиною, а над іншими частинами зліва пишуть «Продовження таблиці 2» без крапки в кінці.

Інші вимоги до виконання таблиць – відповідно до чинних стандартів на технічну документацію.

В заключній частині звіту формулюються основні висновки до роботи. Висновки оформлюють із заголовком «Висновки» з нової пронумерованої сторінки, починаючи з абзацу. В тексті аналізуються основні підсумки лабораторної роботи, дають оцінку одержаним результатам, визначають перспективи їх покращення. Вказують значення виконаної лабораторної роботи для вивчення цієї дисципліни.

Цикл лабораторних робіт вибирається викладачем з урахуванням виділеного часу студентам на виконання лабораторного практикуму.

Лабораторна робота № 1

Тема: Дослідження роботи оптичного мультиплексора FOM-16

Мета роботи: виконати дослідження особливостей будови та основних характеристик обладнання цифрової оптичної системи передачі FOM-16.

- Обладнання:**
1. Оптичний мультиплексор FOM-16;
 2. Тестер інтерфейсного сигналу ТИС-Е1;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Мультисервісна платформа обслуговування FOM-16 є волоконно-оптичним NG-PDH мультиплексором з можливістю транспортування до 16 потоків E1 (G.703), пакетного трафіка Ethernet (10BASE-T) та інформаційного потоку за протоколом V.35 із застосуванням схеми резервування оптичного тракту (1+1). На базі мультиплексора можлива побудова оптичних транспортних мереж з топологією «точка-точка» для організації зв'язку між комутаційними системами (АТС), між Ethernet мережами та організації зв'язку між комутаторами та базовими станціями мобільного зв'язку (рис. 1.1).

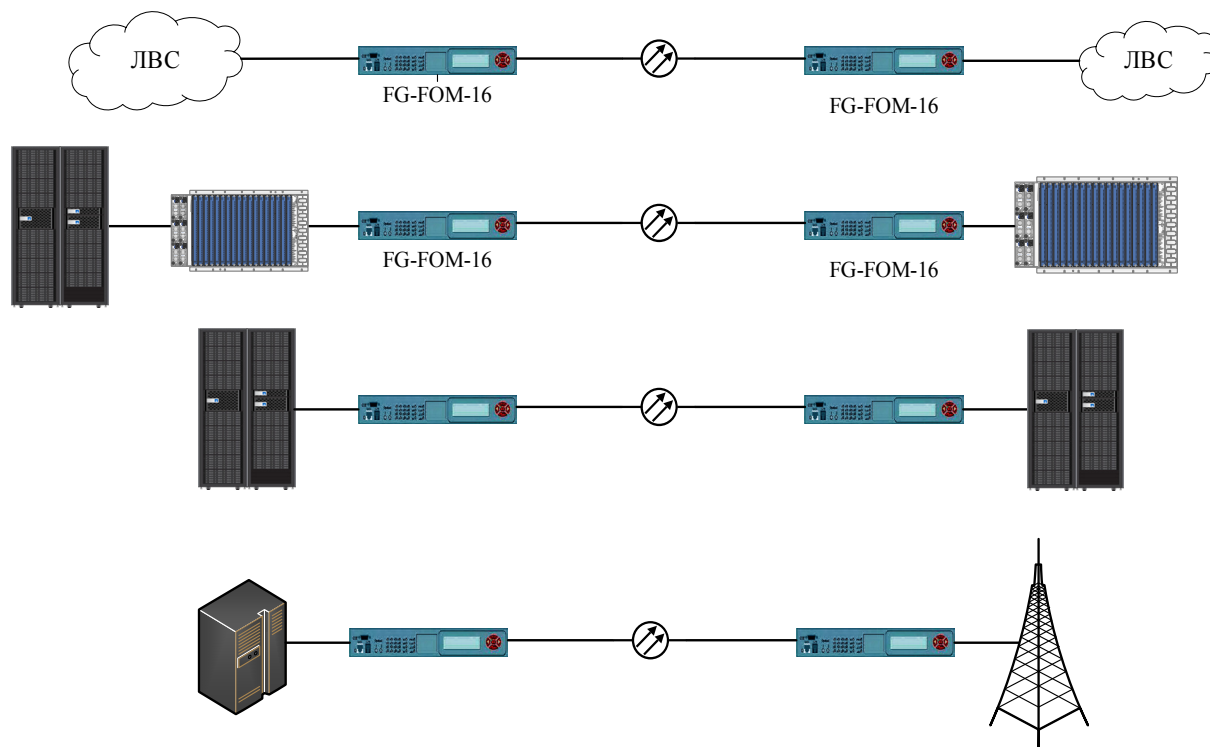


Рисунок 1.1 – Варіанти використання оптичного мультиплексора FOM-16

Зазначені особливості дозволяють будувати ефективні мережі доступу з використанням цього типу обладнання.

Сучасна модульна конструкція (рис. 1.2) дозволяє формувати груповий інформаційний потік ПЦІ з використанням відповідних типів модульних інтерфейсів (табл. 1.1). На лицьовій панелі (рис. 1.2) розташовані органи керування (клавіатура, інтерфейси RS-232 та RJ-45) та індикації (графічний індикатор та індикатори стану трибутарних інтерфейсів).

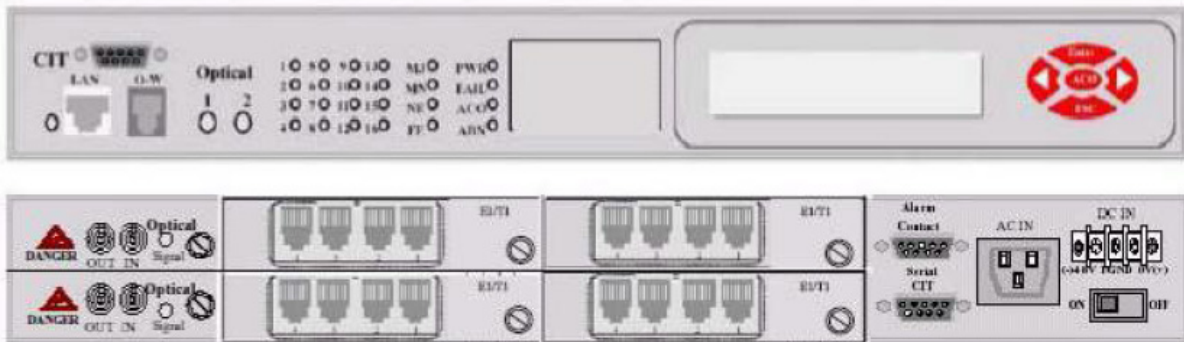


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд мультисервісної платформи FOM-16

Задня панель має 4 слоти для встановлення трибутарних плат з відповідними інтерфейсами та 2 слоти під модулі оптичних інтерфейсів.

Таблиця 1.1 – Типи інтерфейсів мультисервісної платформи FOM-16

| Інтерфейс E1 | |
|-------------------|--------------------------------------|
| Тип роз'єму | RJ-45 |
| Опір | 120 Ом |
| Швидкість сигналу | 2048 кбіт/с ± 50 ppm |
| Лінійний код | HDB3 |
| Стандарт | G.703 |
| Фазові дрижання | згідно з рекомендаціями G.724, G.823 |

Інтерфейс LAN

| | |
|----------------------|--------------|
| Тип роз'єму | RJ-45 |
| Інтерфейс | 10/100 BaseT |
| Макс. довжина пакета | 1536 байт |
| Стандарт | IEEE 802.3 |

Інтерфейс V.35

| | |
|-------------|------------|
| Тип роз'єму | DB-25 |
| Інтерфейс | V.35 |
| Стандарт | ITU-T V.35 |

Продовження таблиці 1.1

Оптичний інтерфейс

| Тип лазерного діода | | MLM – 1310 нм | |
|-----------------------------------|-----------|--|-------------|
| Швидкість передачі | | 68.736 Мбіт/с | |
| Стандарт | | ITU-T V.35 ± 20 ppm | |
| Тип роз'єму | | FC/PC | |
| Робоча довжина хвилі | | 1310 ± 30 нм | |
| Лінійне кодування | | Скремблювання NRZ | |
| Вихідна потужність (пікова) | | -7 ... -15 дБп | |
| Чутливість по прийманню | | -34 з коефіцієнтом помилок 10 ⁻¹⁰ | |
| Вхідне підсилення | | > 20 дБ | |
| Резервування | | 1+0, 1+1 | |
| Стандарт | | ITU-T G.981 | |
| Захист від електромагнітних завад | | згідно з рек. CISPR22 клас А | |
| Назва модуля | Інтерфейс | Кількість інтерфейсів | Тип роз'єму |
| E1/T1 | E1 G.703 | 4 | RJ45 |
| LAN | 10Base-T | 1 | RJ45 |
| V.35 | V.35 | 1 | DB25 |

Для керування та індикації використовуються такі елементи (рис. 1.3):

- світлодіодні індикатори на передній панелі мультиплексора, які дозволяють контролювати наявність трибутарних сигналів та оперативно діагностувати виникаючі несправності;
- графічний індикатор, який у комплекті з п'ятиклавішною клавіатурою на передній панелі мультиплексора дозволяє проводити налаштування модулів мультиплексора та моніторинг їх стану;
- інтерфейс RS-232 для підключення персонального комп'ютера (ПК) з термінальною програмою для повноцінного конфігурування мультиплексора;
- інтерфейс RJ-45 для підключення системи моніторингу роботи мультиплексора у складі ОТМ.

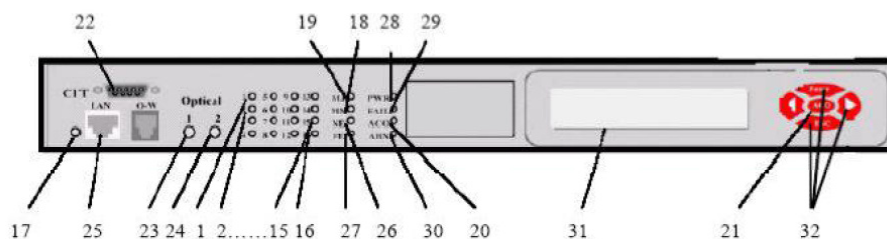


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд елементів керування мультисервісної платформи FOM-16 (табл. 1.2)

Таблиця 1.2 – Назва та призначення елементів керування FOM-16

| № | Позначення | Призначення | Стан |
|----|------------|--|--|
| 1 | 1 | 1 ... 4 канали E1, LAN в слоті 1 | зелений – передача даних |
| 2 | 2 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 3 | 3 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 4 | 4 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 5 | 5 | 5 ... 8 канали E1, LAN в слоті 2 | зелений – передача даних |
| 6 | 6 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 7 | 7 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 8 | 8 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 9 | 9 | 9 ... 12 канали E1, LAN в слоті 3 | зелений – передача даних |
| 10 | 10 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 11 | 11 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 12 | 12 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 13 | 13 | 13 ... 16 канали E1, LAN в слоті 4 | зелений – передача даних |
| 14 | 14 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 15 | 15 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 16 | 16 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 17 | – | Індикатор LAN | зелений – інтерфейс LAN підключений до мережі вимкнений – інтерфейс LAN не використовується |
| 18 | MJ | Термінова аварія | світиться – наявність термінової аварії |
| 19 | MN | Нетермінова аварія | світиться – наявність нетермінової аварії |
| 20 | ACO | Індикатор відкл. зовн. синхронізації | світиться – відключена зовнішня сигналізація |
| 21 | ACO | Кнопка відкл. авар. сигналізації | |
| 22 | CID | Роз'єм RS232 | |
| 23 | OPTICAL 1 | Індикатори оптичних портів | зелений – нормальна робота інтерфейсу |
| 24 | OPTICAL 2 | | помаранчевий – інтерфейс в режимі STBY червоний – відсутній сигнал на виході інтерфейсу вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 25 | LAN | Роз'єм керування | |
| 26 | NE | Локальна аварія | світиться – аварія на локальній стороні |
| 27 | FE | Віддалена аварія | світиться – аварія на віддаленій стороні |
| 28 | PWR | Індикатор живлення | світиться – живлення ввімкнене |
| 29 | FAIL | Індикатор апаратної аварії | світиться – збій обладнання |
| 30 | ABN | Індикатор шлейфа | світиться – встановлений шлейф |
| 31 | LCD | Дисплей | |
| 32 | – | Клавіші керування | |

Схема з'єднання функціональних елементів FOM-16 між собою показана на рис. 1.4.

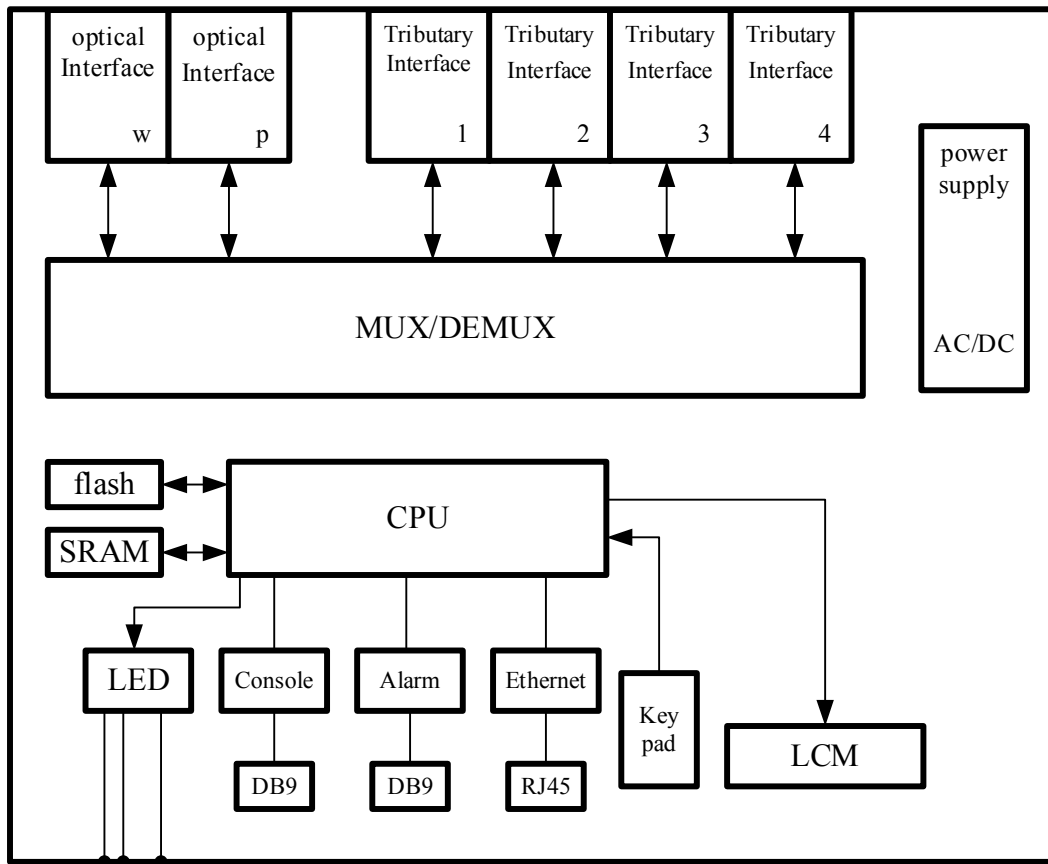


Рисунок 1.4 – Блок-схема мультисервісної платформи FOM-16

Інформаційні потоки від кінцевого обладнання надходять на відповідні інтерфейси мультиплексора FOM-16, в яких перетворюються в трибутарні потоки E2 (8,442 Мбіт/с) та передаються до мультиплексора. Мультиплексор (MUX/DEMUX) об'єднує потоки E2 та передає загальний потік даних в оптичний інтерфейс для перетворення в оптичний сигнал та передачі по оптичній лінії зв'язку. Центральний процесор (CPU) забезпечує керування та контроль за станом всіх вузлів, а також опрацьовує аварійні сигнали та команди керування з терміналу або вбудованої клавіатури.

Моніторинг стану та керування мультиплексором здійснюється трьома способами:

- за допомогою клавіатури та дисплея на зовнішній панелі;
- дистанційно через SNMP доступ по Ethernet мережі;
- локально через термінальну програму з ПК.

Останній варіант є найбільш зручним та передбачає використання термінальної програми, що виконується на стандартному ПК (рис. 1.5). Мультиплексор, до якого виконується підключення ПК, називається локальним, а інший мультиплексор – віддаленим.



Рисунок 1.5 – Підключення ПК до OTM NG-PDH з топологією «точка-точка»

Після виконання стандартної процедури встановлення з'єднання, на екран ПК виводиться основне меню термінальної програми FOM16 Console, загальний вигляд якого показано на рис. 1.6.

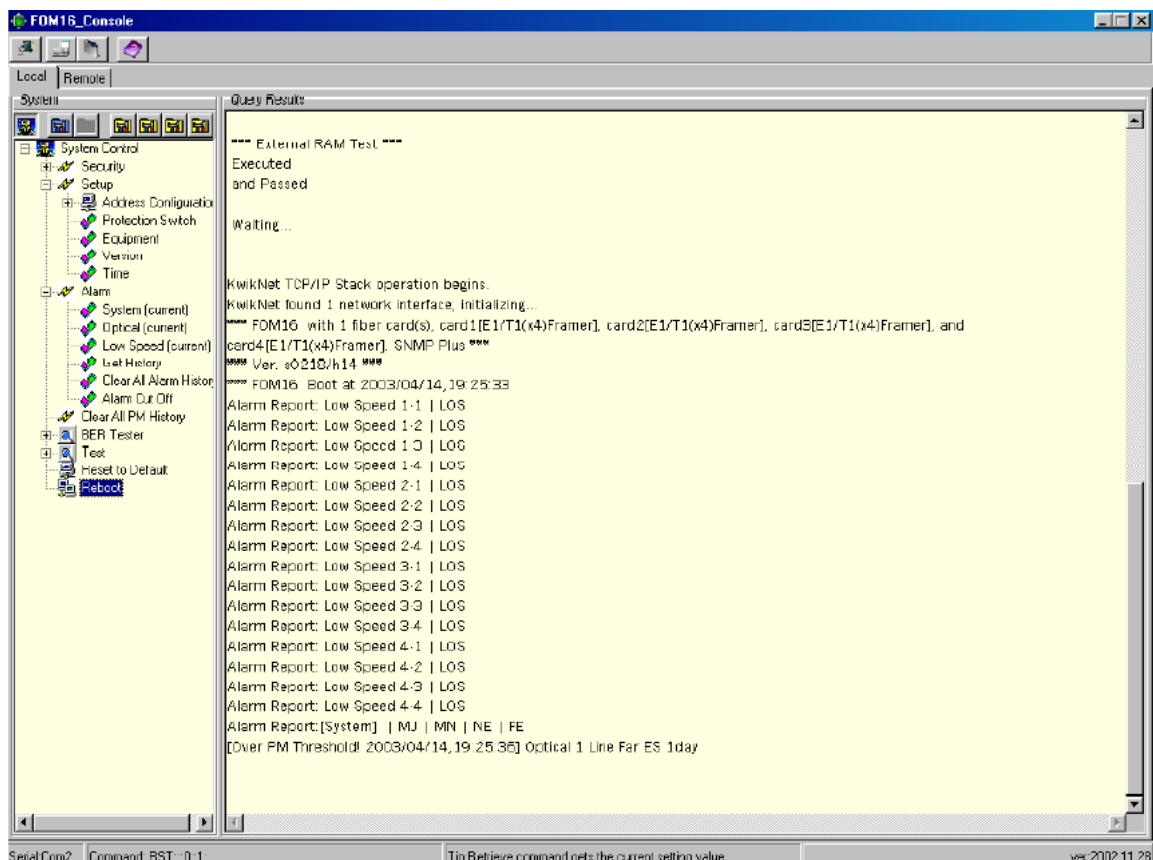
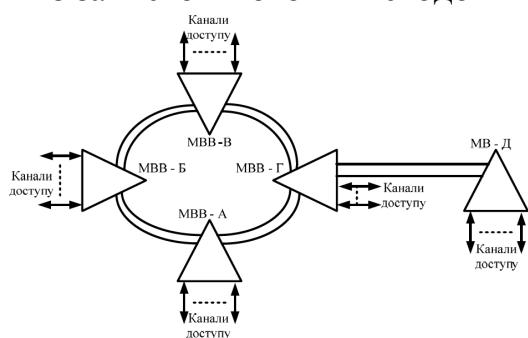


Рисунок 1.6 – Основне меню термінальної програми FOM16 Console

До термінальної програми входять: панель інструментів з опціями для налаштування COM порту, виведення log-файлів локального та віддаленого мультиплексорів, а також два робочих вікна (System та Query results). Вікно System за допомогою вбудованої ієрархічної панелі інструментів забезпечує керування вузлами мультиплексора, а вікно Query results відображає результати виконання команд. В нижній частині основного вікна термінальної програми розміщено рядок стану з інформацією про задіяний COM порт та останню виконану команду. Всі команди та зміни стану вузлів мультиплексора записуються в log-файли для локального та віддаленого модулів. Для керування та моніторингу роботи ОТМ на базі мультиплексорів FG-FOM16 через Ethernet мережу використовується програма керування FOM16_GUI.

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Скласти мультиплексний план та визначити рівні ієрархії цифрових систем передачі СЦІ радіально-кільцевої оптичної транспортної мережі з захистом потоків методом MS SPRing згідно з таблицею.



| Мережні вузли | МВВ-А | МВВ-Б | МВВ-В | МВВ-Г | МВВ-Д |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| МВВ-А | | 180 | 144 | 314 | 115 |
| МВВ-Б | | | 327 | 191 | 203 |
| МВВ-В | | | | 311 | 150 |
| МВВ-Г | | | | | 43 |
| МВ-Д | | | | | |

3. Використовуючи технічний опис та інструкцію з експлуатації FOM16, ознайомитись із призначенням команд термінальної програми FOM16 Console.

4. Ознайомитись із процесом конфігурування мультиплексора згідно з порядком виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 1.7 наведена структурна схема лабораторного стенда ОТС на базі FOM16. Для нормальної роботи програми керування за протоколом SNMP необхідний PC з такою конфігурацією: Центральний процесор: Pentium 1200 МГц. Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP. Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 60 МБ. Монітор: VGA. (1024×768). Миша / Клавіатура. Інтерфейс Ethernet.

Спочатку за допомогою нуль-модемного кабелю необхідно підключити ПК до оптичного мультиплексора. Після цього підключаємо тестер інтерфейсного сигналу TIS-E1 до одного з портів E1 мультиплексора та до COM-порту ПК. Запускаємо на ПК програму TIS-Soft-E1 та переводимо

тестер ТИС-Е1 в режим керування з ПК. Вмикаємо мультиплексор та запускаємо термінальну програму FOM16 Console, в якій вибираємо тип підключення – COM1. При вдалому підключення отримуємо підтвердження у вікні результатів термінальної програми.

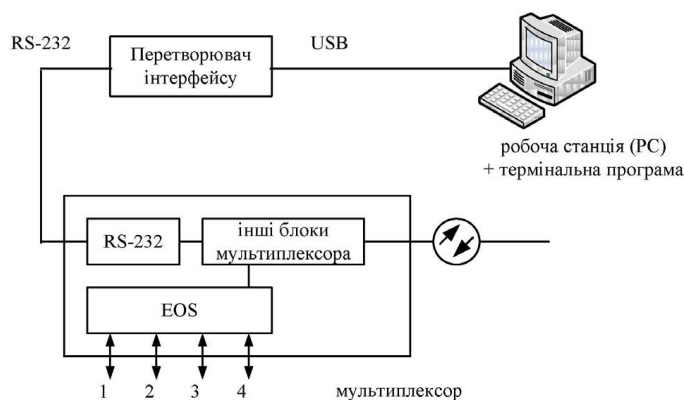


Рисунок 1.7 – Структурна схема лабораторного стенду ОТС на базі FOM16

Порядок виконання роботи

1. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми FOM16 Console потрібно вивчити призначення команд, необхідних для виконання п. 3 – 6 цієї роботи.

2. Здійснити підключення ПК із встановленою термінальною програмою та тестера інтерфейсних сигналів ТИС-Е1 до мультиплексора FOM-16 відповідно до рис. 1.7.

3. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми FOM16 Console, необхідно виконати інсталяцію інтерфейсів E1. Для цього необхідно відкрити підменю Low Speed Unit, в якому вибрати необхідний порт E1 – E16 (Line1 – Line16) та використати команду SVC (дозволяє включати або виключати порти E1). Цю команду необхідно використовувати кожного разу після перезапуску термінальної програми. Результати виконання п. 3 записати до табл. 1.3.

Таблиця 1.3

| № вар. | № задіяних портів E1 | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора до початку робіт | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора після виконання роботи | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт у вікні результатів (Query Results) термінальної програми або log-файлі |
|--------|----------------------|---|---|---|
| 1 | 1, 4, 7, 10, 13 | | | |
| 2 | 3, 6, 9, 12, 15 | | | |
| 3 | 2, 5, 8, 11, 16 | | | |

Після виконання п. 3 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1.

4. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми виконати налаштування портів E1. Для цього необхідно відкрити підменю Low Speed Unit, в якому вибрати необхідний порт E1 – E16 (Line1

– Line16) (порти попередньо інстальовані) та використати команду Code Mode, яка дозволяє вибрати тип коду порту E1. Для миттєвого відображення в вікні результатів термінальної програми змін в налаштуванні портів E1 необхідно використовувати команду Retrieve. Цю команду можна використовувати кожного разу після будь-яких змін в налаштуванні мультиплексора. Тестер ТИС-E1 достатньо використати для 1 порту E1, для кожного з варіантів. Результати виконання п. 4 записати до табл. 1.4.

Таблиця 1.4

| № вар. | № задіяного порту E1 | Тип коду за портом E1 | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт у вікні результатів (Query Results) термінальної програми або log-файлі | Стан індикаторів на передній панелі тестера ТИС-E1 після виконання роботи |
|--------|----------------------|-----------------------|---|---|
| 1 | 1, 4, 8, 12, 16 | HDB3 | | |
| 2 | 2, 5, 9, 13, 14 | AMI | | |
| 3 | 3, 7, 10, 11, 15 | HDB3 | | |

Після виконання п. 4 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1.

5. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми, виконати перевірку портів E1 за допомогою тестових шлейфів згідно з рис. 1.8. Для цього необхідно відкрити підменю Low Speed Unit, в якому вибрати необхідний порт E1 – E16 (Line1 – Line16) (порти попередньо інстальовані) та використати команду Loop Back, яка дозволяє встановити локальний (Local) або віддалений тестові шлейфи для порту E1.

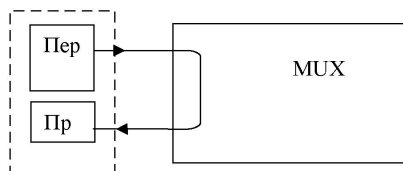


Рисунок 1.8 – Структурна схема організації тестового шлейфа за портом E1 оптичного мультиплексора.

Командою Normal знімаються всі типи тестових шлейфів і порт E1 готовий до роботи. Результати виконання п. 5 записати до табл. 1.5.

Таблиця 1.5

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип тестового шлейфа | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора до початку робіт | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора після виконання роботи | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт у вікні результатів (Query Results) термінальної програми або log-файлі |
|--------|----------------------|----------------------|---|---|---|
| 1 | 4, 6, 8, 12, 16 | Local | | | |
| 2 | 5, 7, 10, 13, 14 | Remote | | | |
| 3 | 2, 3, 9, 15, 16 | Local | | | |

Після виконання п. 5 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1.

6. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми, виконати перевірку оптичного тракту за допомогою команд тестового шлейфу на оптичному інтерфейсі. Для цього необхідно відкрити підменю Optical Unit, в якому вибрати робочий оптичний інтерфейс Work (line1) та використати команду Loop Back, яка дозволяє встановити локальний (Local) або віддалений (Remote) тестові шлейфи для оптичного порту. В такій конфігурації оптичного мультиплексора встановлено один оптичний прийомопередавач, тому його виключити командою SVC неможливо.

Після почергового встановлення тестових шлейфів за оптичним інтерфесом мультиплексора необхідно записати зміни в стані індикаторів на передній панелі мультиплексора та порівняти їх із записами в термінальній програмі або log-файлі. Після виконання п. 6 необхідно відмінити всі встановленні інтерфейси за оптичним портом.

7. Створити імітацію пошкодження оптичної лінії зв'язку шляхом відключення ОВ з входу оптичного інтерфейсу. Після цього записати зміни в стані індикаторів на передній панелі мультиплексора та порівняти їх із записами в термінальній програмі або log-файлі. Далі встановити тестовий шлейф за оптичним трактом та порівняти результати спостережень стану роботи мультиплексора з п. 6. Після виконання п. 7 необхідно відключити мультиплексор від мережі електроживлення.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми тестових шлейфів для перевірки роботоздатності інтерфейсних портів мультиплексора, заповнені таблиці 1.3–1.5 проведених досліджень та висновки щодо особливостей налаштування режимів та керування роботою оптичного мультиплексора FOM-16.

Контрольні запитання

1. Вкажіть призначення мультиплексора FOM16.
2. Які варіанти транспортних мереж ПЦІ можливо будувати з використанням FOM16?
3. Які функціональні блоки входять до складу мультиплексора?
4. Перелічіть способи моніторингу стану та керування мультиплексором.
5. Вкажіть швидкість групового інформаційного потоку для FOM16.
6. Які типи тестових шлейфів можна організувати в мультиплексорі FOM16?
7. Перелічіть типи аварійної сигналізації, яка розміщена на передній панелі мультиплексора FOM16.

Лабораторна робота № 2

Тема: Дослідження системи моніторингу оптичного мультиплексора FOM-16.

Мета роботи: виконати дослідження особливостей моніторингу роботи обладнання цифрової оптичної системи передачі FOM-16.

- Обладнання:**
1. Оптичний мультиплексор FOM-16;
 2. Тестер інтерфейсного сигналу ТИС-Е1;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Мультисервісна платформа обслуговування FOM-16 є волоконно-оптичним NG-PDH мультиплексором з можливістю транспортування до 16 потоків Е1 (G.703), пакетного трафіка Ethernet (10BASET) та інформаційного потоку за протоколом V.35 із застосуванням схеми резервування оптичного тракту (1+1). На базі мультиплексора можлива побудова оптичних транспортних мереж з топологією «точка–точка» для організації зв'язку між комутаційними системами (АТС), між Ethernet мережами та організації зв'язку між комутаторами та базовими станціями мобільного зв'язку (рис. 2.1).

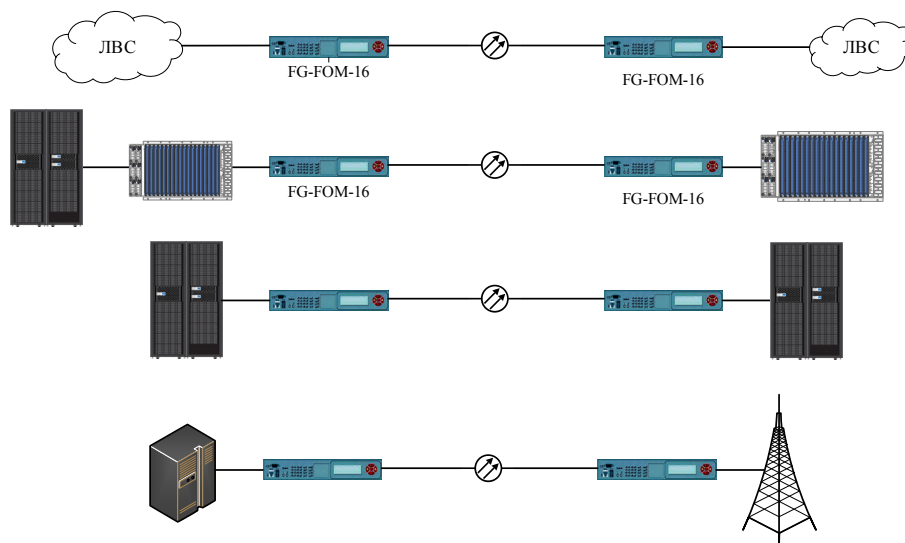


Рисунок 2.1 – Варіанти використання оптичного мультиплексора FOM-16

Зазначені особливості дозволяють будувати ефективні мережі доступу з використанням такого типу обладнання.

Сучасна модульна конструкція дозволяє формувати груповий інформаційний потік ПЦІ з використанням відповідних типів модульних інтерфейсів. На лицьовій панелі розташовані органи керування (клавіатура, інтерфейси RS-232 та RJ-45) та індикації (графічний індикатор та індикатори стану трибутарних інтерфейсів).

Задня панель має 4 слоти для встановлення трибутарних плат з відповідними інтерфейсами та 2 слоти під модулі оптичних інтерфейсів.

Для керування та індикації використовуються такі елементи (рис. 2.2):

- світлодіодні індикатори на передній панелі мультиплексора, які дозволяють контролювати наявність трибутарних сигналів та оперативно діагностувати виникаючі несправності;

- графічний індикатор, який у комплекті з п'ятиклавішною клавіатурою на передній панелі мультиплексора дозволяє проводити налаштування модулів мультиплексора та моніторинг їх стану;

- інтерфейс RS-232 для підключення персонального комп'ютера (ПК) з термінальною програмою для повноцінного конфігурування мультиплексора;

- інтерфейс RJ-45 для підключення системи моніторингу роботи мультиплексора у складі ОТМ.

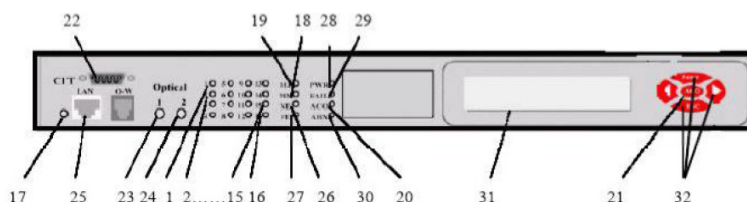


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд елементів керування мультисервісної платформи FOM-16 (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Назва та призначення елементів керування FOM-16

| № | Позначення | Призначення | Стан |
|----|------------|------------------------------------|--|
| 1 | 1 | 1 ... 4 канали E1, LAN в слоті 1 | зелений – передача даних |
| 2 | 2 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 3 | 3 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 4 | 4 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 5 | 5 | 5 ... 8 канали E1, LAN в слоті 2 | зелений – передача даних |
| 6 | 6 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 7 | 7 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 8 | 8 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 9 | 9 | 9 ... 12 канали E1, LAN в слоті 3 | зелений – передача даних |
| 10 | 10 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 11 | 11 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 12 | 12 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 13 | 13 | 13 ... 16 канали E1, LAN в слоті 4 | зелений – передача даних |
| 14 | 14 | | вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 15 | 15 | | блимаючий зелений – встановлений шлейф |
| 16 | 16 | | червоний – втрата сигналу або синхронізації |
| 17 | – | Індикатор LAN | зелений – інтерфейс LAN підключений до мережі вимкнений – інтерфейс LAN не використовується |
| 18 | MJ | Термінова аварія | світлиться – наявність термінової аварії |
| 19 | MN | Нетермінова аварія | світлиться – наявність нетермінової аварії |

Продовження табл. 2.1

| | | | |
|----|-----------|--------------------------------------|--|
| 20 | ACO | Індикатор відкл. зовн. синхронізації | світиться – відключена зовнішня сигналізація |
| 21 | ACO | Кнопка відкл. авар. сигналізації | |
| 22 | CID | Роз'єм RS232 | |
| 23 | OPTICAL 1 | Індикатори оптичних портів | зелений – нормальна робота інтерфейсу помаранчевий – інтерфейс в режимі STBY червоний – відсутній сигнал на виході інтерфейсу вимкнений – інтерфейс вимкнений або не встановлений |
| 24 | OPTICAL 2 | | |
| 25 | LAN | Роз'єм керування | |
| 26 | NE | Локальна аварія | світиться – аварія на локальній стороні |
| 27 | FE | Віддалена аварія | світиться – аварія на віддаленій стороні |
| 28 | PWR | Індикатор живлення | світиться – живлення ввімкнене |
| 29 | FAIL | Індикатор апаратної аварії | світиться – збій обладнання |
| 30 | ABN | Індикатор шлейфа | світиться – встановлений шлейф |
| 31 | LCD | Дисплей | |
| 32 | – | Клавіші керування | |

Схема з'єднання функціональних елементів FOM-16 між собою показана на рис. 2.3.

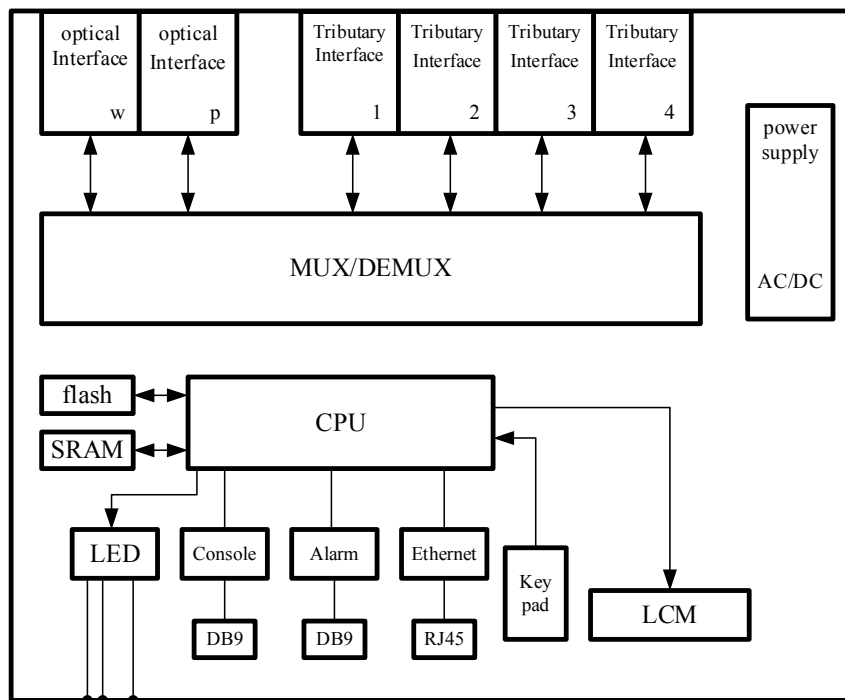


Рисунок 2.3 – Блок-схема мультисервісної платформи FOM-16

Інформаційні потоки від кінцевого обладнання надходять на відповідні інтерфейси мультиплексора FOM-16, в яких перетворюються в трибутарні потоки E2 (8,442 Мбіт/с) та передаються до мультиплексора. Мультиплексор (MUX/DEMUX) об'єднує потоки E2 та передає загальний потік даних в оптичний інтерфейс для перетворення в оптичний сигнал та передачі по оптичній лінії зв'язку. Центральний процесор (CPU) забезпечує керування та контроль за станом всіх вузлів, а також опрацьовує аварійні сигнали та команди керування з терміналу або вбудованої клавіатури.

Моніторинг стану та керування мультиплексором здійснюється трьома способами:

- за допомогою клавіатури та дисплея на зовнішній панелі;
- дистанційно через SNMP доступ по Ethernet мережі;
- локально через термінальну програму з ПК.

Для керування та моніторингу роботи ОТМ на базі мультиплексорів FG-FOM16 через Ethernet мережу використовується програма керування FOM16_GUI (рис. 2.4).

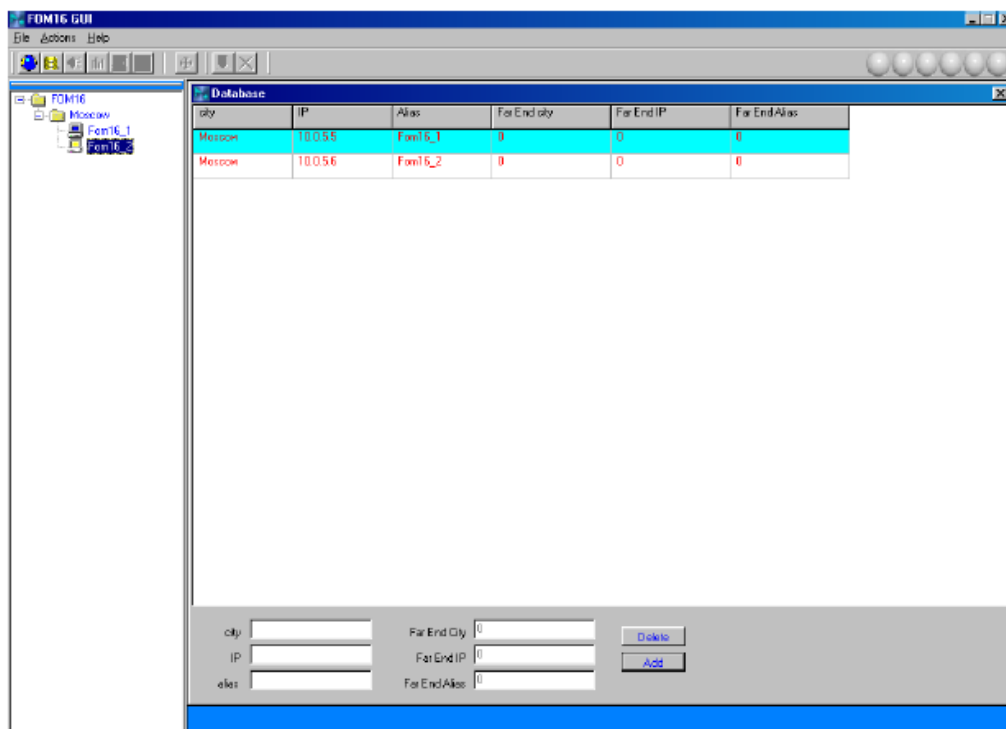


Рисунок 2.4 – Основне меню програми дистанційного моніторингу FOM16_GUI.

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Виконати розрахунок максимальних довжин регенераційної ділянки мережі СЦІ на базі мультиплексорів рівня STM-12 з урахуванням енергетичного запасу за потужністю та дисперсією оптичного сигналу. Енергетичний потенціал обладнання рівня STM-12 $Q = 20$ дБ, коефіцієнт згасання

оптичного кабелю $\alpha = 0,24$ дБ/км, будівельна довжина кабелю $l_b = 4,5$ км, хроматична дисперсія $\sigma = 22$ пс/(нм·км), ширина спектра джерела випромінювання $\Delta\lambda = 0,35$ нм. Взяти експлуатаційний запас $p_z = 7$ дБ, додаткове згасання $A_d = 2$ дБ, згасання на зварному стику $A_c = 0,25$ дБ. Пояснити вибір значення довжини регенераційної ділянки.

3. Використовуючи технічний опис та інструкцію з експлуатації FOM16, ознайомитись із призначенням команд програми FOM16_GUI.

4. Ознайомитись із процесом моніторингу роботи мультиплексора згідно з порядком виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 2.5 наведена структурна схема лабораторного стенда ОТС на базі FOM16. Для нормальної роботи програми керування за протоколом SNMP необхідний PC з такою конфігурацією: Центральний процесор: Pentium 1200 МГц. Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP. Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 60 МБ. Монітор: VGA. (1024×768). Миша / Клавіатура. Інтерфейс Ethernet.

Спочатку за допомогою нуль-модемного кабелю необхідно підключити ПК до оптичного мультиплексора. Після цього підключаємо тестер інтерфейсного сигналу ТИС-Е1 до одного з портів Е1 мультиплексора та до СОМ-порту ПК. Запустити на ПК програму ТИС-Soft-Е1 та перевести тестер ТИС-Е1 в режим керування з ПК. Вмикаємо мультиплексор та запускаємо термінальну програму FOM16 Console, в якій вибираємо тип підключення – СОМ1. При вдалому підключення отримуємо підтвердження у вікні результатів термінальної програми. Також виконуємо підключення ПК до оптичного мультиплексора через Ethernet порт. Після підтвердження про вдале підключення ПК до оптичного мультиплексора необхідно виконати налаштування програми дистанційного моніторингу FOM16_GUI.

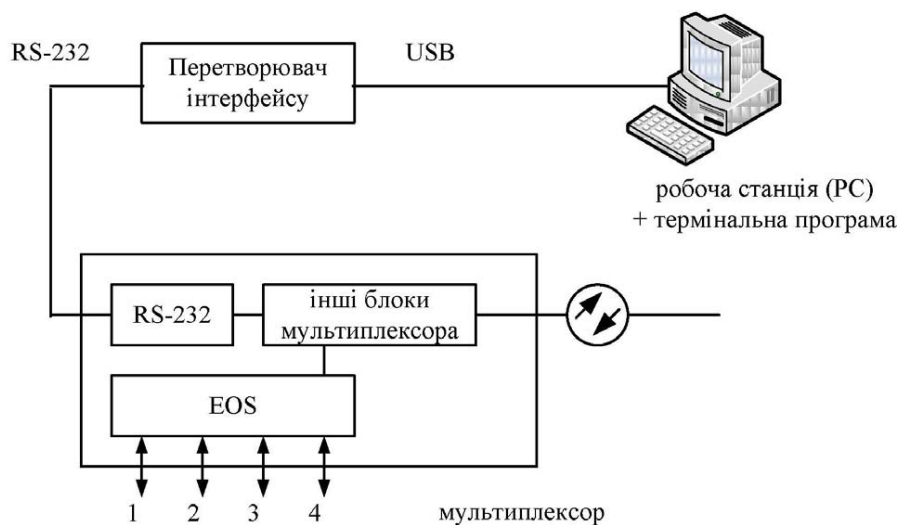


Рисунок 2.5 – Структурна схема лабораторного стенда ОТС на базі FOM16

Порядок виконання роботи

1. Використовуючи меню програми керування та моніторингу FOM16_GUI, вивчити призначення команд, необхідних для виконання п. 3 – 7 цієї роботи.

2. Здійснити підключення ПК із встановленою термінальною програмою та тестера інтерфейсних сигналів ТИС-Е1 до мультиплектора FOM-16 згідно з рис. 2.5. Запустити термінальну програму FOM16 Console та вибрати необхідний COM-порт. Підтвердженням про підключення ПК до мультиплектора є поява в вікні Query results інформації про режим роботи COM-порту, яку потрібно записати в звіт роботи.

3. Виконати налаштування SNMP доступу до оптичного мультиплектора за допомогою програми дистанційного моніторингу FOM16_GUI. Для цього в меню системних команд System термінальної програми FOM16 Console відкрити підменю Setup, в якому знаходиться опція конфігурування Ethernet з'єднання за протоколом SNMP – Address Configuration. Це меню містить команди налаштування параметрів протоколу SNMP: IP – встановлення IP адреси оптичного мультиплектора; Gateway IP – встановлення IP адреси шлюзу; Trap Target IP – встановлення IP адреси для передачі аварійних повідомлень; Subnet Mask – встановлення маски мережі. Під час налаштування параметрів Address Configuration необхідно використовувати стандартні значення IP адреси та маски мережі, які пропонуються в термінальній програмі FOM16 Console. Рекомендовані стандартні значення IP адреси та маски мережі:

- IP адреса оптичного мультиплектора – 203.67.125.100;
- IP адреса шлюзу – 203.67.125.17;
- IP адреса для передачі аварійних повідомлень – 203.67.125.168;
- маска мережі – 255.255.255.0.

При виході з кожної з опцій налаштування діючого та стандартного значень IP адреси та маски мережі, які мають збігатися, необхідно контролювати зміни в налаштуваннях за допомогою команди Retrieve.

IP адреса та маска мережі, які не збігаються зі стандартними, можуть призвести до виведення з ладу робочої програми оптичного мультиплектора.

Отже, якщо діючі та стандартні значення IP адреси та маски мережі збігаються, то налаштування оптичного мультиплектора виконано.

4. Виконати налаштування IP адреси та маски мережі для карти локальної мережі на ПК таким чином, щоб ПК та оптичний мультиплексор знаходилися в одній локальній мережі. Для перевірки правильності налаштування локальної мережі на ПК необхідно виконати в командному рядку таку команду – ping 203.67.125.100-t (при цьому ПК має бути підключеним до SNMP-входу оптичного мультиплектора). Після підтвердження про вдале підключення ПК до оптичного мультиплектора, необхідно виконати налаштування програми дистанційного моніторингу FOM16_GUI.

Після цього необхідно налаштувати IP адресу та маску мережі на ПК.

3. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми FOM16 Console, необхідно виконати інсталяцію інтерфейсів E1. Для цього необхідно відкрити підменю Low Speed Unit, в якому вибрати необхідний порт E1 – E16 (Line1 – Line16) та використати команду SVC (дозволяє включати або виключати порти E1). Цю команду необхідно використовувати кожного разу після перезапуску термінальної програми. Результати виконання п. 3 записати до табл. 2.2.

Таблиця 2.2

| № вар. | № задіяних портів E1 | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора до початку робіт | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора після виконання роботи | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт у вікні результатів (Query Results) термінальної програми або log-файлі |
|--------|----------------------|---|---|---|
| 1 | 1, 4, 7, 10, 13 | | | |
| 2 | 3, 6, 9, 12, 15 | | | |
| 3 | 2, 5, 8, 11, 16 | | | |

Після виконання п. 3 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1.

4. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми виконати налаштування портів E1. Для цього необхідно відкрити підменю Low Speed Unit, в якому вибрати необхідний порт E1 – E16 (Line1 – Line16) (порти попередньо інстальовані) та використати команду Code Mode, яка дозволяє вибрати тип коду порту E1. Для миттєвого відображення в вікні результатів термінальної програми змін в налаштуванні портів E1, необхідно використовувати команду Retrieve. Цю команду можна використовувати кожного разу після будь-яких змін в налаштуванні мультиплексора. Тестер ТИС-E1 достатньо використати для 1 порту E1 для кожного з варіантів. Результати виконання п. 4 записати до табл. 2.3.

Таблиця 2.3

| № вар. | № задіяного порту E1 | Тип коду за портом E1 | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт у вікні результатів (Query Results) термінальної програми або log-файлі | Стан індикаторів на передній панелі тестера ТИС-E1 після виконання роботи |
|--------|----------------------|-----------------------|---|---|
| 1 | 1, 4, 8, 12, 16 | HDB3 | | |
| 2 | 2, 5, 9, 13, 14 | AMI | | |
| 3 | 3, 7, 10, 11, 15 | HDB3 | | |

Після виконання п. 4 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1.

5. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми, виконати перевірку портів E1 за допомогою тестових шлейфів згідно з рис. 2.6. Для цього необхідно відкрити підменю Low Speed Unit, в якому вибрати необхідний порт E1 – E16 (Line1 – Line16) (порти поперед-

ньо інсталювані) та використати команду Loop Back, яка дозволяє встановити локальний (Local) або віддалений тестові шлейфи для порту E1.

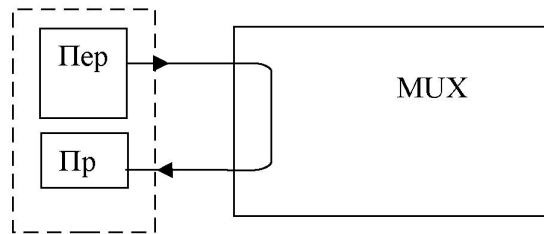


Рисунок 2.6 – Структурна схема організації тестового шлейфу за портом E1 оптичного мультиплексора

Командою Normal знімаються всі типи тестових шлейфів і порт E1 готовий до роботи. Результати виконання п. 5 записати до табл. 2.4.

Таблиця 2.4

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип тестового шлейфу | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора до початку робіт | Стан індикаторів на передній панелі мультиплексора після виконання роботи | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт у вікні результатів (Query Results) термінальної програми або log-файлі |
|--------|----------------------|----------------------|---|---|---|
| 1 | 4, 6, 8, 12, 16 | Local | | | |
| 2 | 5, 7, 10, 13, 14 | Remote | | | |
| 3 | 2, 3, 9, 15, 16 | Local | | | |

Після виконання п. 5 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1.

6. Використовуючи меню системних команд System термінальної програми, виконати перевірку оптичного тракту за допомогою команд тестового шлейфу на оптичному інтерфейсі. Для цього необхідно відкрити підменю Optical Unit, в якому вибрати робочий оптичний інтерфейс Work (line1) та використати команду Loop Back, яка дозволяє встановити локальний (Local) або віддалений (Remote) тестові шлейфи для оптичного порту. В такій конфігурації оптичного мультиплексора встановлено один оптичний прийомопередавач, тому його виключити командою SVC неможливо.

Після почергового встановлення тестових шлейфів за оптичним інтерфесом мультиплексора необхідно записати зміни в стані індикаторів на передній панелі мультиплексора та порівняти їх із записами в термінальній програмі або log-файлі. Після виконання п. 6 необхідно відмінити всі встановленні інтерфейси за оптичним портом.

7. Створити імітацію пошкодження оптичної лінії зв'язку шляхом відключення ОВ з входу оптичного інтерфейсу. Після цього записати зміни в

стані індикаторів на передній панелі мультиплектора та порівняти їх із записами в термінальній програмі або log-файлі. Далі встановити тестовий шлейф за оптичним трактом та порівняти результати спостережень стану роботи мультиплектора з п. 6. Після виконання п. 7 необхідно відключити мультиплексор від мережі електроживлення.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми тестових шлейфів для перевірки робоздатності інтерфейсних портів мультиплектора, заповнені таблиці 2.2 – 2.4 проведених досліджень та висновки щодо особливостей налаштування режимів та керування роботою оптичного мультиплектора FOM-16.

Контрольні запитання

1. Вкажіть призначення мультиплектора FOM16.
2. Які варіанти транспортних мереж ПЦІ можливо будувати з використанням FOM16?
3. Які функціональні блоки входять до складу мультиплектора?
4. Перелічіть способи моніторингу стану та керування мультиплексором.
5. Вкажіть швидкість групового інформаційного потоку для FOM16.
6. Які типи тестових шлейфів можна організувати в мультиплексорі FOM16?
7. Перелічіть типи аварійної сигналізації, яка розміщена на передній панелі мультиплектора FOM16.

Лабораторна робота № 3

Тема: Дослідження роботи оптичного мультиплексора FMUX-01A.

Мета роботи: виконати дослідження особливостей побудови та основних характеристик обладнання цифрової оптичної системи передачі FMUX-01A.

- Обладнання:**
1. Оптичний мультиплексор FMUX-01A;
 2. Тестер інтерфейсного сигналу ТИС-Е1;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Мультисервісна платформа обслуговування FMUX-01A є волоконно-оптичним NG-PDH мультиплексором з можливістю транспортування до 16 потоків E1 (G.703), пакетного трафіка Ethernet (10BASE-T) та інформаційного потоку за протоколом V.35 із застосуванням схеми резервування оптичного тракту (1+1) (рис. 3.1).

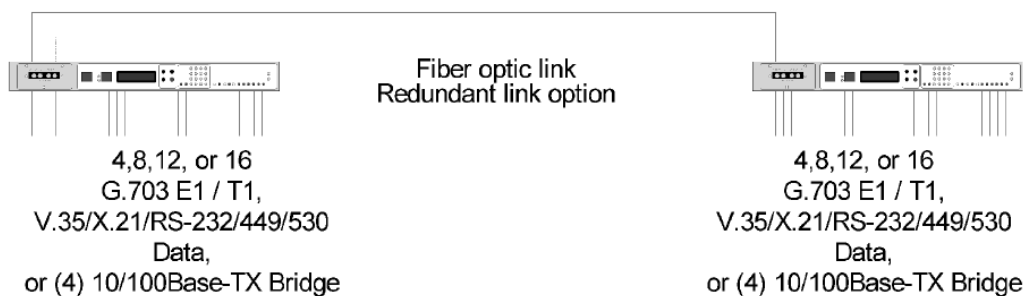


Рисунок 3.1 – Технічні характеристики мультиплексора FMUX-01A

На базі мультиплексора можлива побудова оптичних транспортних мереж з топологією «точка-точка» для організації зв'язку між комутаційними системами (АТС), між Ethernet мережами та організації зв'язку між комутаторами та базовими станціями мобільного зв'язку (рис. 3.2).

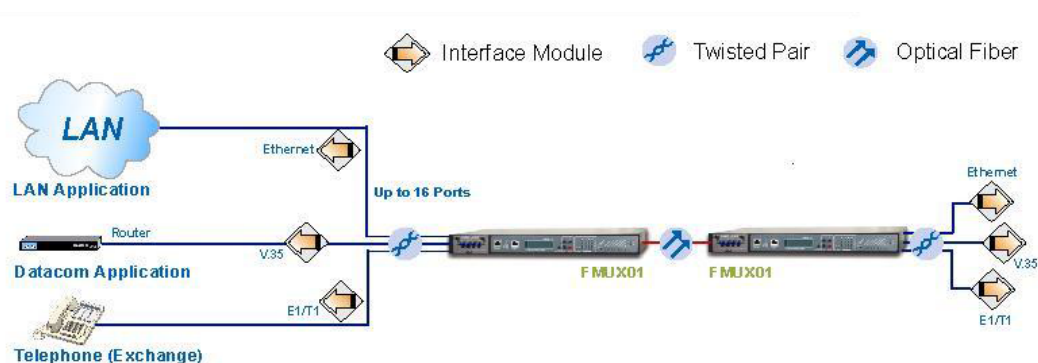


Рисунок 3.2 – Варіанти використання оптичного мультиплексора FMUX-01A

Зазначені особливості дозволяють будувати ефективні мережі доступу з використанням такого типу обладнання. Сучасна модульна конструкція (рис. 3.3) дозволяє формувати груповий інформаційний потік ПЦІ з використанням відповідних типів модульних інтерфейсів (табл. 3.1).

На лицьовій панелі (рис. 3.3) розташовані органи керування (клавіатура, інтерфейси RS-232 та RJ-45), індикації (графічний індикатор та індикатори стану трибутарних інтерфейсів) та 2 слоти під модулі оптичних інтерфейсів. Задня панель має 4 слоти для встановлення трибутарних плат з відповідними інтерфейсами (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд мультисервісної платформи FMUX-01A

Таблиця 3.1 – Типи інтерфейсів оптичного мультиплексора FMUX-01A

| | |
|-------------------------------|---|
| | З'єднання E1 |
| Формування кадру | Без формування (наскрізне) |
| Швидкість | 2,048 Мбіт/с |
| Лінійний код | AMI HDB3 |
| Опір лінії | асиметричний 75 Ом (BNC) симетричний 120 Ом (RJ45) |
| Чутливість приймача | +3 ... -12 дБ (короткий інтервал) |
| Амплітуда імпульсу | Номінальна 2,37 В ± 10% для 75 Ом Номінальна 3,00 В ± 10% для 120 Ом |
| Амплітуда «нуля» | ±0,3 В |
| Передавальна частота стеження | (внутрішня/зовнішня плата синхронізації) |
| Внутрішня синхронізація | ±30 ppm |
| Параметри джитера | Відповідно до ITU-T G.823 |
| Моніторинг продуктивності | Відповідно до ITU-T G.821/G.826 |
| Відповідність стандартам | ITU-T G.703, G.704, G.706 і G.732 |
| Інтерфейсні роз'єми | RJ-45 (проводове з'єднання також доступне) BNC |
| Вимірювальні шлейфи | Шлейф місцевої лінії зв'язку LLB Шлейф передавального кінця лінії NEBL Шлейф віддаленого кінця лінії RLB Шлейф запиту віддаленого кінця лінії RRLB |

Продовження таблиці 3.1

| | |
|-------------------------------|---|
| | З'єднання T1 |
| Формування кадру | Без формування (наскрізне) |
| Швидкість | 1,544 Мбіт/с |
| Лінійний код | AMI; B8ZS |
| Опір лінії | симетричний 100 Ом (RJ45) |
| Чутливість приймача | +3 ... -12 дБ (короткий інтервал) |
| Амплітуда імпульсу | Номінальна 3,00В±10% для 100Ом |
| Амплітуда «нуля» | ±0,3В |
| Передавальна частота стеження | (внутрішня/зовнішня плата синхронізації) |
| Внутрішня синхронізація | ±30 ppm |
| Параметри джитера | Відповідно до ITU-T G.824 |
| Моніторинг продуктивності | Відповідно до ITU-T G.821/G.826 |
| Відповідність стандартам | ITU-T G.703, G.704, G.706 і G.733 |
| Інтерфейсні роз'єми | RJ-45 (проводове з'єднання також доступне) |
| Вимірювальні шлейфи | Шлейф місцевої лінії зв'язку LLB |
| | Шлейф передавального кінця лінії NEBL |
| | Шлейф віддаленого кінця лінії RLB |
| | Шлейф запиту віддаленого кінця лінії RRLB |
| | Канали мостових портів |
| Тип інтерфейсу | 10Base-T, 100Base-TX (автоматичне узгодження) |
| Роз'єм інтерфейсу | RJ-45 |
| Швидкість передачі WAN | 8,192 Мбіт/с |
| Відповідність стандартам | IEEE802.3 10Base-T, IEEE802.3u 100Base-TX |
| Режими роботи | міст/повторювач, повний/частковий, 10/100, авто |
| Вимірювальні шлейфи | Відсутні |

Для керування та індикації використовуються такі елементи (рис. 3.4):

- світлодіодні індикатори на передній панелі мультиплексора, які контролюють наявність трибутарних сигналів та дозволяють оперативно діагностувати несправності;
- графічний індикатор, який у комплекті з чотириклавійною клавіатурою на передній панелі мультиплексора дозволяє проводити налаштування модулів мультиплексора та моніторинг їх стану;
- інтерфейс RS-232 для підключення персонального комп'ютера (ПК) з термінальною програмою для повноцінного конфігурування мультиплексора;
- інтерфейс RJ-45 для підключення системи моніторингу роботи мультиплексора у складі ОТМ.

Таблиця 3.2 – Оптичні параметри (вторинні параметри волокна, що не збігаються з первинними)

| Тип | M-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M | S-M |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Відстань (км) | 2 | 15 | 30 | 50 | 80 | 120 | 20A* | 40B* | 60A* | 80A* | 60B* | 80A* | 60B* | 80A* | 60B* | 80A* | 80B* |
| Довжина хвилі (нм) | 1310 | 1310 | 1310 | 1310 | 1550 | 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1310 Rx: 1550 | Tx: 1550 Rx: 1310 |
| BER** | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ | <10 ⁻¹¹ |
| Чутливість приймача | -31 dBm | -35 dBm | -35 dBm | -36 dBm | -34 dBm | -35 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -32 dBm | -34 dBm | -34 dBm |
| Потужність передавача | -20 dBm | -17 dBm | -20 dBm | -8 dBm | -5 dBm | 0 dBm | -15 dBm | -18 dBm | -7 dBm | -8 dBm | -18 dBm | -15 dBm | -18 dBm | -7 dBm | -8 dBm | -5 dBm | -2 dBm |
| Баланс потужності | 11 dB | 18 dB | 20 dB | 28 dB | 29 dB | 35 dB | 17 dB | 14 dB | 25 dB | 24 dB | 14 dB | 17 dB | 14 dB | 25 dB | 29 dB | 29 dB | 33 dB |
| Затухання відбиття | -12 dBm | -12 dBm | -12 dBm | -12 dBm | -12 dBm | -12 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm | -14 dBm |
| Типи з'єднань | SC | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V |
| | ST | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V |
| | FC | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V |

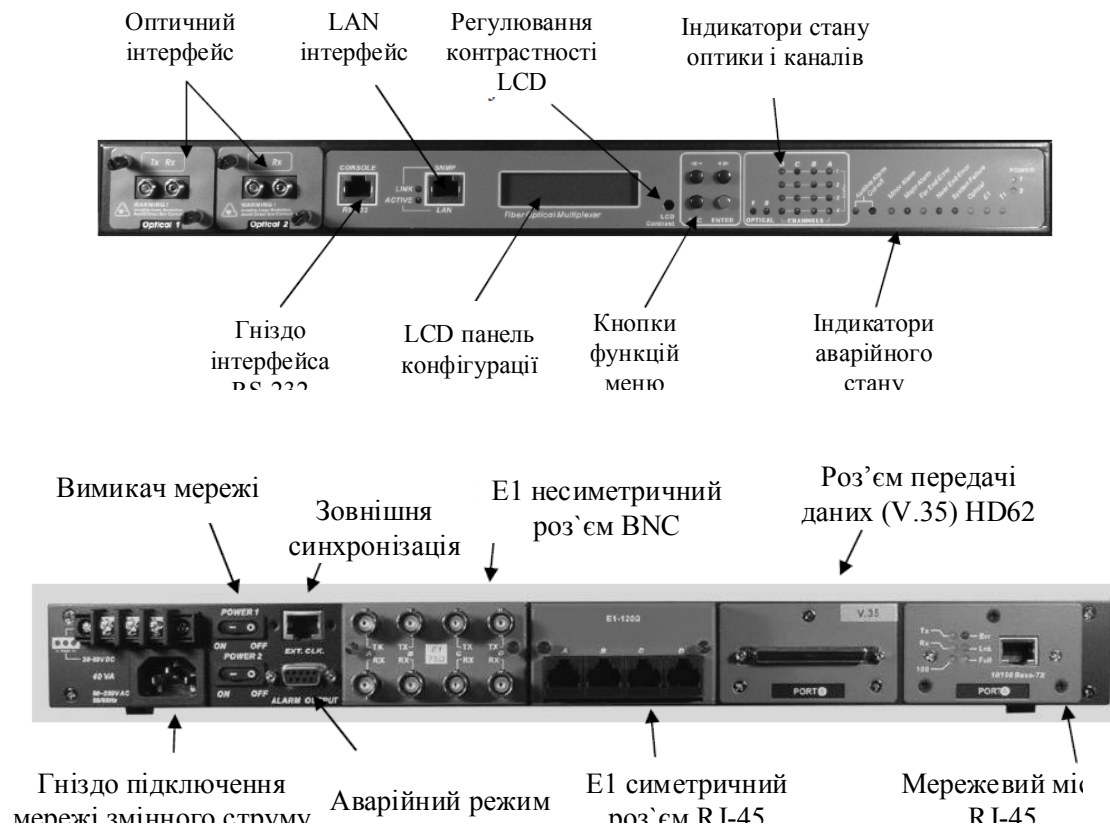


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд елементів керування та інтерфейсів мультисервісної платформи FMUX-01A (табл. 3.3)

- Minor Alarm, Major Alarm – вказує на наявність аварій низького і високого порядку (червоний світить – відбулась аварія, не світить – несправностей не виявлено);
- Far End Error – вказує на наявність аварії на віддаленому кінці (жовтий світить – відбулась аварія, не світиться – несправностей не виявлено);
- Near End Error – вказує на наявність аварії на ближньому кінці (червоний світиться – сталася аварія, не світиться – несправностей не виявлено);
- System Failure – вказує на виникнення системної помилки (червоний світиться – сталася аварія, не світиться – несправностей не виявлено);
- Optical – вказує на наявність аварій за оптичним портом (червоний світиться – сталася аварія, зелений світиться – оптичний порт в нормі, не світиться – оптичні порти вимкнені);
- E1 – вказує на наявність аварій по портах E1 (червоний світиться – сталася аварія, зелений світиться – E порти в нормі, не світиться – оптичні порти вимкнені);
- T1 – вказує на наявність аварій по портах T1 (червоний світиться – сталася аварія, зелений світиться – T порти в нормі, не світиться – оптичні порти вимкнені/відсутні);

Power 1,2 – вказує на стан джерел живлення (горить – джерело живлення ввімкнено, не горить – джерело живлення вимкнено).

Таблиця 3.3 – Назва та призначення елементів керування FMUX-01A

| | | |
|----------------------|-----------|---|
| Power 1 | Зелений | Живлення модуля 1 ввімкнено |
| Power 2 | Зелений | Живлення модуля 2 ввімкнено |
| Optical 1 | Жовтий | Вимкнено = вимкнено Ввімкнено = працює (ALS вимкнено) Ввімкнено = працює і з'єднаний (ALS встановлений автоматично) Мигає = працює але не з'єднаний (Якщо ALS вимкнено, тоді стан «не з'єднаний» не буде відображатись блиманням світлодіода) |
| Optical 1 | Жовтий | Вимкнено = неактивно Ввімкнено = готовність (ALS вимкнено) Ввімкнено = працює і з'єднаний (ALS встановлений автоматично) Мигає = працює але не з'єднаний (Якщо ALS вимкнено, тоді стан «не з'єднаний» не буде відображатись блиманням світлодіода) |
| Channels | Зелений | Один світлодіод для кожного каналу (A–D) кожного порта (1–4), всього 16 світлодіодів Ввімкнено = працює Вимкнено = не працює Мигає = втрата сигналу |
| Audible Alarm Cutoff | Жовтий | Звуковий сигнал аварії звучатиме, доки не перемкнуті вимикач аварії |
| Minor Alarm | Жовтий | Відображає другорядну аварію, включаючи E1 або T1 BPV або при зникненні синхронізації в волокні |
| Major Alarm | Червоний | Відображає першорядну аварію, включаючи E1 або T1 BPV або при зникненні синхронізації в волокні |
| Far End Error | Жовтий | Сигналізує появу помилки на дальньому кінці лінії |
| Near End Error | Червоний | Сигналізує появу помилки на передавальному кінці лінії |
| System Failure | Червоний | Сигналізує збій в системі такий, як втрата оптичного сигналу |
| Optical | Подвійний | Зелений = Встановлення оптичного зв'язку Червоний = Зрив оптичного зв'язку |
| E1 | Подвійний | Зелений = E1 активний, без помилок Червоний = E1 слабкий сигнал Вимкнений = E1 відсутній |
| T1 | Подвійний | Зелений = T1 активний, без помилок Червоний = T1 слабкий сигнал Вимкнений = T1 відсутній |

Інформаційні потоки від кінцевого обладнання надходять на відповідні інтерфейси мультиплексора FMUX-01A, в яких перетворюються в трибутарні потоки E2 (8,442 Мбіт/с) та передаються до мультиплексора. Мультиплексор (MUX/DEMUX) об'єднує потоки E2 та передає загальний потік даних в оптичний інтерфейс для перетворення на оптичний сигнал та передачі по оптичній лінії зв'язку (рис. 3.5).

Центральний процесор (CPU) забезпечує керування та контроль за станом всіх вузлів, а також опрацьовує аварійні сигнали та команди керування з терміналу або вбудованої клавіатури.

Моніторинг стану та керування мультиплексором здійснюється трьома способами: за допомогою клавіатури та дисплея на зовнішній панелі; дистанційно через SNMP доступ по Ethernet мережі; локально через термінальну програму з ПК.

Останній варіант є найбільш зручним та передбачає використання термінальної програми, що виконується на стандартному ПК (рис. 3.6). Мультиплексор, до якого проводиться підключення ПК, називається локальним, а інший мультиплексор – віддаленим.

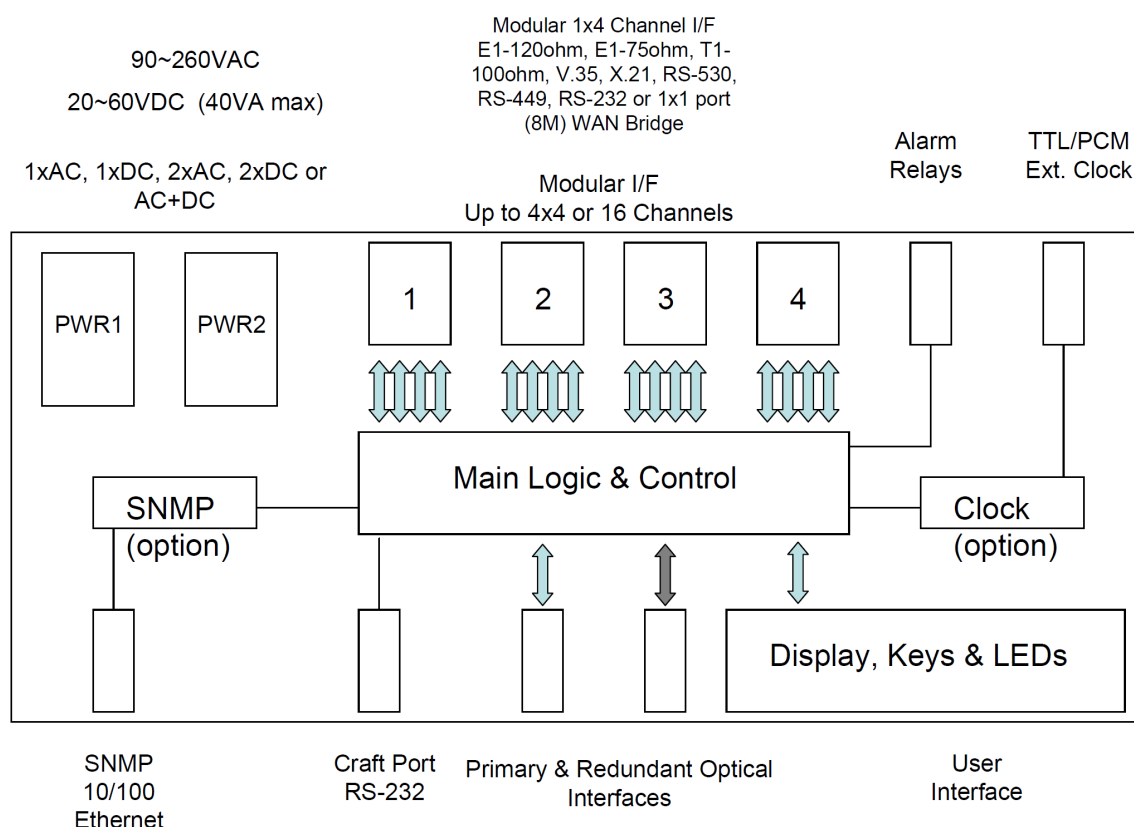


Рисунок 3.5 – Блок-схема мультисервісної платформи FMUX-01A



Рисунок 3.6 – Підключення ПК до ОТМ NG-PDH з топологією «точка – точка»

Після виконання стандартної процедури встановлення з'єднання на екрані ПК виводиться основне меню термінальної програми Hyper Terminal, загальний вигляд якого показано на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Основне меню термінальної програми Hyper Terminal

До термінальної програми входять: панель інструментів з опціями для налаштування COM порту, Для керування та моніторингу роботи ОТМ на базі мультиплексорів FMUX-01A через Ethernet мережу використовується програма керування FMUXGUI.

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Визначити значення запасу за швидкодією ВОЛТ для забезпечення (широко смуговості) роботоздатності ВОСП ПЦІ в першому вікні прозорості з тактовою частотою $F = 18$ МГц в MAN-кодi. Довжина оптичного кабелю становить 3,1 км. Робоча довжина хвилі 850 нм. Значення швидкодії електро-оптичного перетворювача: час наростання ЕОП $t_{н.еоп} = 9$ нс, ширина спектра випромінювання $\Delta\lambda = 16$ нм. Значення швидкодії оптичного волокна: коефіцієнт широко смуговості $K_F = 200$ МГц·км, хроматична дисперсія $\sigma_d = 0,11$ нс/(нм·км), показник степеня довжини $\gamma = 0,7$, будівельна довжина оптичного кабелю $l_b = 4,4$ км, довжина оптичного кабелю з урахуванням запасу 1,5% $L_{ок} = 3,1$ км. Значення швидкодії опто-електричного перетворювача: час наростання $t_{н.оеп} = 13$ нс.
3. Використовуючи технічний опис та інструкцію з експлуатації FMUX-01A, ознайомитись із призначенням команд.
4. Ознайомитись із процесом конфігурування мультиплексора згідно з порядком виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 3.8 наведена структурна схема лабораторного стенду ОТС на базі FMUX-01A. Для нормальної роботи програми керування за протоколом SNMP необхідний РС з такою конфігурацією: Центральний процесор: Pentium 1200 МГц. Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP. Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 60 МБ. Монітор: VGA. (1024×768). Миша / Клавіатура. Інтерфейс Ethernet.

Спочатку за допомогою нуль-модемного кабелю необхідно підключити ПК до оптичного мультиплексора. Після цього підключаємо тестер інтерфейсного сигналу ТИС-Е1 до одного з портів Е1 мультиплексора та до СОМ-порту ПК. Запускаємо на ПК програму ТIS-Soft-Е1 та переводимо тестер ТИС-Е1 в режим керування з ПК. Вмикаємо мультиплексор та запускаємо термінальну програму Nurer Terminal, в якій вибираємо тип підключення – СОМ1. При вдалому підключенні отримуємо підтвердження у вікні результатів термінальної програми.

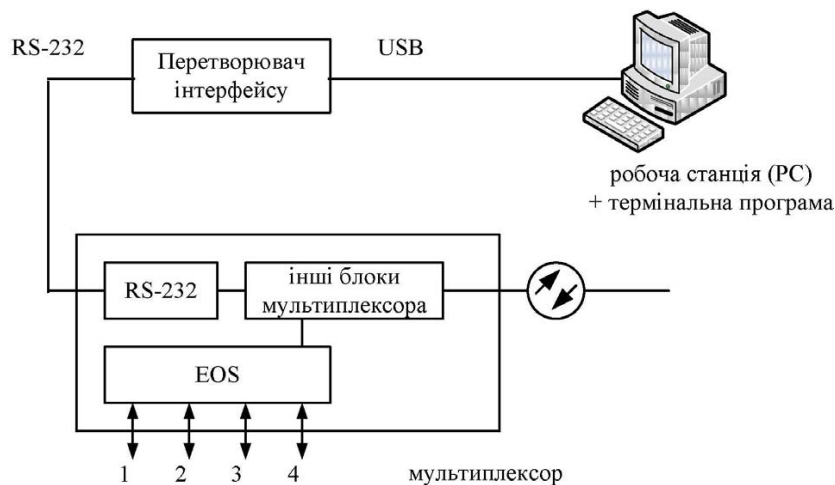


Рисунок 3.8 – Схема лабораторного стенда ОТС на базі FMUX-01А

Порядок виконання роботи

1. Здійснити підключення ПК та тестера інтерфейсних сигналів ТИС-Е1 до мультиплектора FMUX-01А згідно з рис. 3.8. Використовуючи клавіатуру та графічний індикатор на передній панелі оптичного мультиплектора, виконати завантаження заводських налаштувань параметрів конфігурації оптичного мультиплектора через пункт Load Default в меню SYSTEM CONFIG. Після цього виконати налаштування роботи системного таймера (встановити дату та час) через пункти DATE та TIME в меню DATE&TIME DISPLAY.

2. Записати стан індикаторів на передній панелі та виконати через пункт Service меню PORT 1-E1 та PORT 2-E2 інсталяцію портів E1-E8 оптичного мультиплектора. Після виконання інсталяції портів E1 записати стан індикаторів на передній панелі та вказати конфігурацію оптичного мультиплектора.

3. Здійснити підключення ПК до мультиплектора FMUX-01А згідно з рис. 3.8 за допомогою термінальної програми Hyper Terminal. Запустити термінальну програму Hyper Terminal, вибрати необхідний COM-порт та виконати його налаштування відповідно до правил:

- швидкість передачі – 19200 бод;
- біти даних – 8;
- перевірка парності – відсутня;
- стопові біти – 1.

Підтвердженням підключення ПК до мультиплектора є поява в вікні Hyper Terminal стартової сторінки оптичного мультиплектора з вибором типу підключення 1-Local Login та 2-Remote Login. Використавши меню 1-Local Login перевірити та записати стан інтерфейсів мультиплектора за допомогою команди Display System Status. Після цього за допомогою меню Define System Parameter команди Define Port Parameter вимкнути всі задіяні порти E1 та записати стан індикаторів на передній панелі мультиплектора FMUX-01А. Використовуючи меню Define System Parameter, Alarm Buffer

Display та Performance Display обнулити лічильники аварій оптичного мультиплексора.

3. Використовуючи системні команди Optical Port Config в меню Define System Parameter, за допомогою тестових шлейфів виконати перевірку оптичного інтерфейсу мультиплексора FMUX-01A (рис. 3.9). Результати виконання п. 3 записати до табл. 3.4.

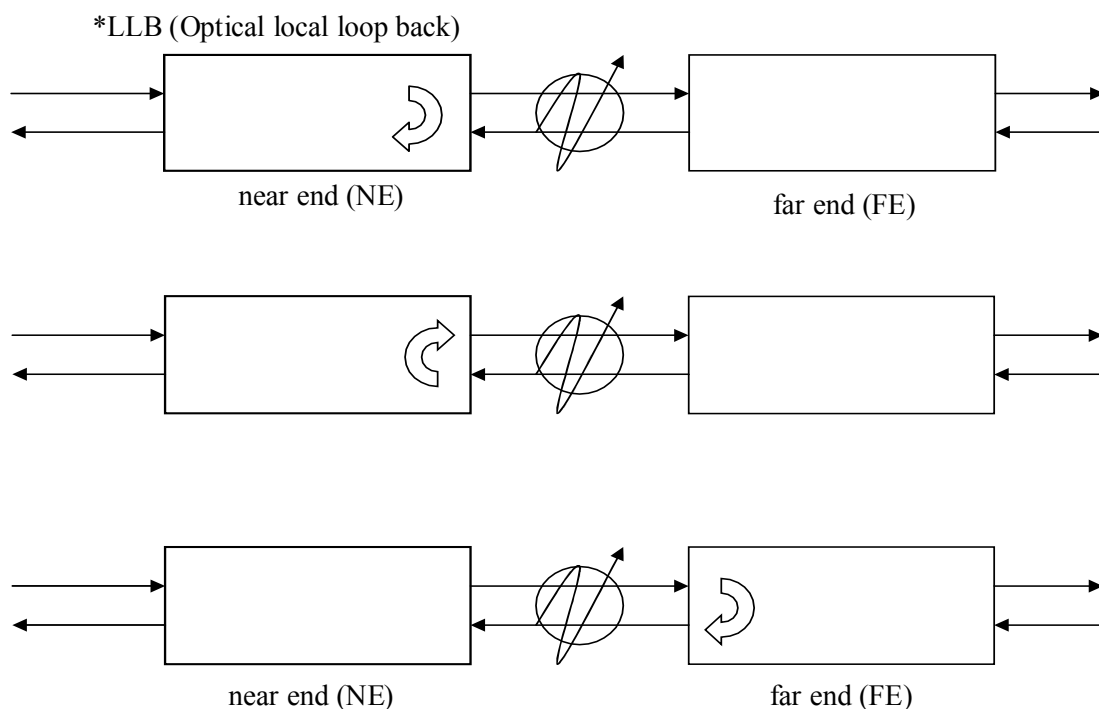


Рисунок 3.9 – Структурна схема організації тестового шлейфа за оптичним портом мультиплексора FMUX-01A

Таблиця 3.4

| № вар. | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню BERT Result до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|--|---|--|---|
| 1 | RRL | | | | |
| 2 | RL | | | | |
| 3 | LL | | | | |

Після виконання п. 3, необхідно вимкнути всі задіяні тестові шлейфи за оптичним інтерфейсом мультиплексора FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних повідомлень в меню BERT Result, Alarm Buffer Display та Performance Display.

4. Використовуючи системні команди Port E1 Config в меню Define System Parameter, виконати інсталяцію портів E1 мультиплексора FMUX-01A. Результати виконання п. 4 записати до табл. 3.5.

Продовження таблиці 3.4.

| № вар. | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексо-ра та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню BERT Result після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|--|--|---|--|
| 1 | RRL | | | | |
| 2 | RL | | | | |
| 3 | LL | | | | |

Таблиця 3.5

| № вар. | № задіяних портів E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплексо-ра та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню BERT Result до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|---|---|--|---|
| 1 | 1, 3, 5, 7 | | | | |
| 2 | 2, 4, 6, 8 | | | | |
| 3 | 3, 4, 5, 7 | | | | |

Продовження таблиці 3.5

| № вар. | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексо-ра та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню BERT Result після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|--|--|---|--|
| 1 | 1, 3, 5, 7 | | | | |
| 2 | 2, 4, 6, 8 | | | | |
| 3 | 3, 4, 5, 7 | | | | |

Таблиця 3.6

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексо-ра та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню BERT Result до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|----------------------|---|---|--|---|
| 1 | 1, 3 | LLB | | | | |
| | 5, 7 | NELLB | | | | |
| | 2, 4 | RLB | | | | |
| | 6, 8 | RRLB | | | | |
| 2 | 1, 2 | NELLB | | | | |
| | 7, 8 | LLB | | | | |
| | 3, 4 | RRLB | | | | |
| | 5, 6 | RLB | | | | |
| 3 | 1, 4 | RLB | | | | |
| | 5, 8 | RRLB | | | | |
| | 2, 3 | LLB | | | | |
| | 6, 7 | NELLB | | | | |

Після виконання п. 4 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1 мультимплексера FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних повідомлень в меню BERT Result, Alarm Buffer Display та Performance Display.

5. Використовуючи системні команди Port E1 Config в меню Define System Parameter, за допомогою тестових шлейфів виконати перевірку портів E1 мультимплексера FMUX-01A (рис. 3.10). Результати виконання п. 5 записати до табл. 3.6.

Продовження таблиці 3.6

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультимплексера та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню BERT Result після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|----------------------|--|--|---|--|
| 1 | 1, 3 | LLB | | | | |
| | 5, 7 | NELLB | | | | |
| | 2, 4 | RLB | | | | |
| | 6, 8 | RRLB | | | | |
| 2 | 1, 2 | NELLB | | | | |
| | 7, 8 | LLB | | | | |
| | 3, 4 | RRLB | | | | |
| | 5, 6 | RLB | | | | |
| 3 | 1, 4 | RLB | | | | |
| | 5, 8 | RRLB | | | | |
| | 2, 3 | LLB | | | | |
| | 6, 7 | NELLB | | | | |

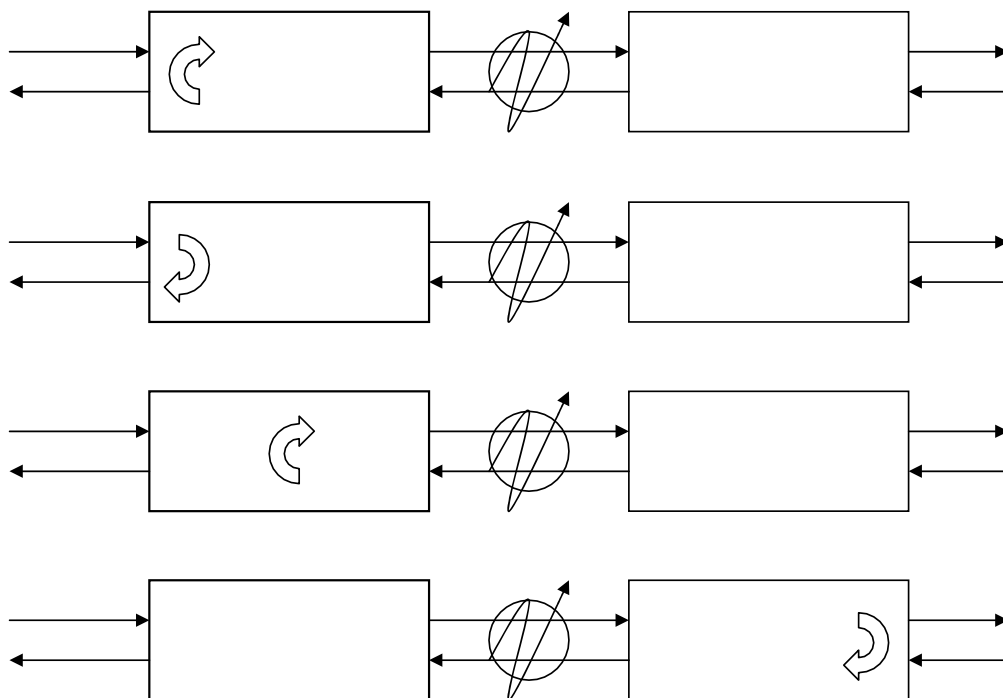


Рисунок 3.10 – Структурна схема організації тестового шлейфа за портом E1 оптичного мультимплексера

Після виконання п. 5 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1 мультиплектора FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних повідомлень в меню BERT Result, Alarm Buffer Display та Performance Display.

6. Використовуючи системні команди Port E1 Config в меню Define System Parameter, виконати налаштування кодів портів E1 мультиплектора FMUX-01A. Результати виконання п. 6 записати до табл. 3.7.

Таблиця 3.7

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип коду за портом E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплектора та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню Define Port Parameter до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|-----------------------|--|---|--|---|
| 1 | 3, 4 5, 6 | HDB3 | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | AMI | | | | |
| 2 | 3, 4 5, 6 | AMI | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | HDB3 | | | | |
| 3 | 1, 4 5, 8 | HDB3 | | | | |
| | 2, 3 6, 7 | AMI | | | | |

Продовження таблиці 3.7

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип коду за портом E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплектора та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню Define Port Parameter після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|-----------------------|---|--|---|--|
| 1 | 3, 4 5, 6 | HDB3 | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | AMI | | | | |
| 2 | 3, 4 5, 6 | AMI | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | HDB3 | | | | |
| 3 | 1, 4 5, 8 | HDB3 | | | | |
| | 2, 3 6, 7 | AMI | | | | |

Після виконання п. 6 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1 мультиплектора FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних повідомлень в меню Alarm Buffer Display та Performance Display.

7. Використовуючи системні команди SNMP Card Config в меню Define System Parameter, визначити IP адресу та маску мережі оптичного мультиплектора. Після цього виконати налаштування IP адреси та маски мережі для карти локальної мережі на ПК таким чином, щоб ПК та оптичний мультиплексор знаходилися в одній локальній мережі. Для перевірки правильності налаштування локальної мережі на ПК, необхідно виконати в

командному рядку таку команду – ping XX.XX.XXX.XX -t (при цьому ПК має бути підключеним до SNMP-інтерфейсу оптичного мультиплексора). Після підтвердження про вдале підключення ПК до оптичного мультиплексора необхідно в командному рядку виконати команду telnet «IP-мультиплексора». При правильному налаштуванні мультиплексор надасть запит про введення пароля «1021». В результаті отримаємо доступ до оптичного мультиплексора через Ethernet мережу. Після цього підключити до мультиплексора тестер ТИС-Е1 та запустити на ПК програму TIS-Soft-E1 для виконання тестування групового тракту портів Е1 за допомогою тестових шлейфів. Перевести тестер ТИС-Е1 в режим керування з ПК. Виконати команди «Св'язь» та «Старт» (відбудеться активація режиму зчитування інформації з тестера ТИС-Е1 в пам'ять ПК) та записати результати вимірювання з меню та таблиці результатів, які після виконання п. 7 записати до табл. 3.8.

8. Створити імітацію пошкодження оптичної лінії зв'язку шляхом відключення ОВ з входу оптичного інтерфейсу. Після цього записати зміни в стані індикаторів на передній панелі мультиплексора та порівняти їх із записами в меню Display System Status термінальної програми. Далі встановити тестовий шлейф за оптичним трактом та порівняти результати спостережень стану роботи мультиплексора з п. 3.

Таблиця 3.8

| № вар. | № задіяних портів Е1 | Тип тестових шлейфів | Тип коду за портом Е1 | Зміст інформаційного повідомлення до виконання робіт в меню та таблиці результатів програми TIS-Soft-E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт в меню та таблиці результатів програми TIS-Soft-E1 | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|----------------------|-----------------------|---|---|--|--|
| 1 | 1, 2 3, 4 | - | AMI | | | | |
| | 5, 6 7, 8 | LLB | HDB3 | | | | |
| 2 | 5, 6 7, 8 | NELLB | AMI | | | | |
| | 1, 2 3, 4 | - | HDB3 | | | | |
| 3 | 3, 4 5, 6 | - | AMI | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | RLB | HDB3 | | | | |

Після виконання п. 8 необхідно вимкнути оптичний інтерфейс за допомогою системних команд Optical Port Config в меню Define System Parameter та відключити мультиплексор від мережі електроживлення.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми тестових шлейфів для перевірки роботоздатності інтерфейсних портів мультиплектора, заповнені таблиці 3.4 – 3.8 проведених досліджень та висновки щодо особливостей налаштування режимів та керування роботою оптичного мультиплектора FMUX-01A.

Контрольні запитання

1. Вкажіть призначення мультиплектора FMUX-01A.
2. Які варіанти транспортних мереж ПЦІ можливо будувати з використанням FMUX-01A?
3. Які функціональні блоки входять до складу мультиплектора?
4. Перелічіть способи моніторингу стану та керування мультиплектором.
5. Вкажіть швидкість групового інформаційного потоку для FMUX-01A.
6. Які типи тестових шлейфів можна організувати в мультиплексорі FMUX-01A?
7. Перелічіть типи аварійної сигналізації, яка розміщена на передній панелі мультиплектора FMUX-01A.

Лабораторна робота № 4

Тема: Дослідження системи моніторингу оптичного мультиплексора FMUX-01A.

Мета роботи: виконати дослідження особливостей моніторингу роботи обладнання цифрової оптичної системи передачі FMUX-01A.

- Обладнання:**
1. Оптичний мультиплексор FMUX-01A;
 2. Тестер інтерфейсного сигналу ТИС-Е1;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Мультисервісна платформа обслуговування FMUX-01A виробництва «СТС Union Technologies Company» є компактним волоконно-оптичним NG-PDH мультиплексором з можливістю транспортування до 16 потоків E1 (G.703), пакетного трафіка Ethernet (10BASET) та інформаційного потоку за протоколом V.35 із застосуванням схеми резервування оптичного тракту (1+1) (рис. 4.1).

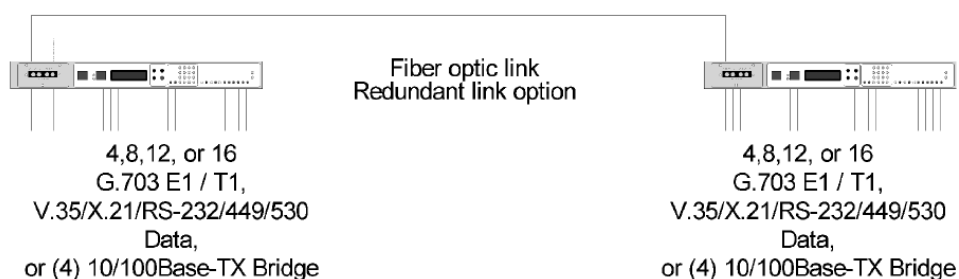


Рисунок 4.1 – Технічні характеристики мультиплексора FMUX-01A

На базі мультиплексора можлива побудова оптичних транспортних мереж з топологією «точка-точка» для організації зв'язку між комутаційними системами (АТС), між Ethernet мережами та організації зв'язку між комутаторами та базовими станціями мобільного зв'язку (рис. 4.2).

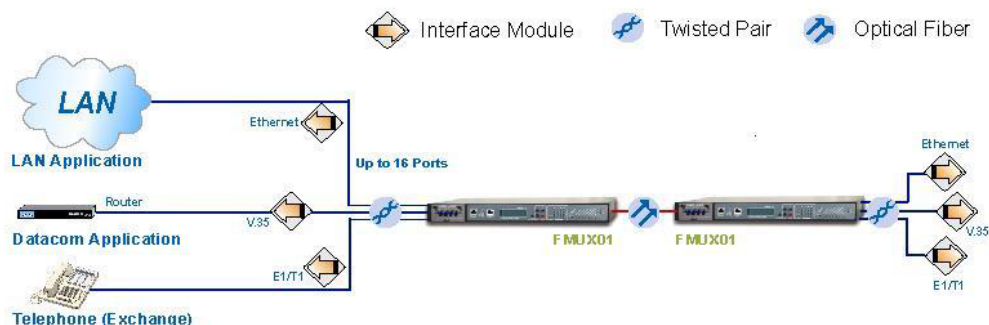


Рисунок 4.2 – Варіанти використання оптичного мультиплексора FMUX-01A

Зазначені особливості дозволяють будувати ефективні мережі доступу з використанням такого типу обладнання. Сучасна модульна конструкція (рис. 4.3) дозволяє формувати груповий інформаційний потік ПЦІ з використанням відповідних типів модульних інтерфейсів.

На лицьовій панелі (рис. 4.3) розташовані органи керування (клавіатура, інтерфейси RS-232 та RJ-45), індикації (графічний індикатор та індикатори стану трибутарних інтерфейсів) та 2 слоти під модулі оптичних інтерфейсів. Задня панель має 4 слоти для встановлення трибутарних плат з відповідними інтерфейсами (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд мультисервісної платформи FMUX-01A

Для керування та індикації використовуються такі елементи (рис. 4.4):

- світлодіодні індикатори на передній панелі мультиплексора, які контролюють наявність трибутарних сигналів та дозволяють оперативно діагностувати несправності;
- графічний індикатор, який у комплекті з чотириклавійною клавіатурою на передній панелі мультиплексора дозволяє проводити налаштування модулів мультиплексора та моніторинг їх стану;
- інтерфейс RS-232 для підключення персонального комп'ютера (ПК) з термінальною програмою для повноцінного конфігурування мультиплексора;
- інтерфейс RJ-45 для підключення системи моніторингу роботи мультиплексора у складі ОТМ.

Назва та призначення елементів керування FMUX-01A.

- Minor Alarm, Major Alarm – вказує на наявність аварій низького і високого порядку (червоний світить – відбулась аварія, не світиться – несправностей не виявлено);
- Far End Error – вказує на наявність аварії на віддаленому кінці (жовтий світить – відбулась аварія, не світиться – несправностей не виявлено);
- Near End Error – вказує на наявність аварії на ближньому кінці (червоний світиться – сталася аварія, не світиться – несправностей не виявлено);

- System Failure – вказує на виникнення системної помилки (червоний світиться – сталася аварія, не світиться – несправностей не виявлено);
- Optical – вказує на наявність аварій за оптичним портом (червоний світиться – сталася аварія, зелений світиться – оптичний порт в нормі, не світиться – оптичні порти вимкнені);
- E1 – вказує на наявність аварій по портах E1 (червоний світиться – сталася аварія, зелений світиться – E порти в нормі, не світиться – оптичні порти вимкнені);
- T1 – вказує на наявність аварій по портах T1 (червоний світиться – сталася аварія, зелений світиться – T порти в нормі, не світиться – оптичні порти вимкнені/відсутні);
- Power 1,2 – вказує на стан джерел живлення (горить – джерело живлення ввімкнено, не горить – джерело живлення вимкнено).



Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд елементів керування та інтерфейсів мультисервісної платформи FMUX-01A

Інформаційні потоки від кінцевого обладнання надходять на відповідні інтерфейси мультиплексора FMUX-01A, в яких перетворюються на трибутарні потоки E2 (8,442 Мбіт/с) та передаються до мультиплексора. Мультиплексор (MUX/DEMUX) об'єднує потоки E2 та передає загальний потік даних в оптичний інтерфейс для перетворення на оптичний сигнал та передачі по оптичній лінії зв'язку. Центральний процесор (CPU) забезпечує керування та контроль за станом всіх вузлів, а також опрацьовує аварійні сигнали та команди керування з терміналу або вбудованої клавіатури.

Моніторинг стану та керування мультиплексором здійснюється трьома способами: за допомогою клавіатури та дисплея на зовнішній панелі; дистанційно через SNMP доступ по Ethernet мережі; локально через термінальну програму з ПК.

Останній варіант є найбільш зручним та передбачає використання термінальної програми, що виконується на стандартному ПК (рис. 4.5). Мультиплексор, до якого проводиться підключення ПК, називається локальним, а інший мультиплексор – віддаленим.

Для керування та моніторингу роботи ОТМ на базі мультиплексорів FMUX-01A через Ethernet мережу використовується програма керування FMUXGUI (рис. 4.5).

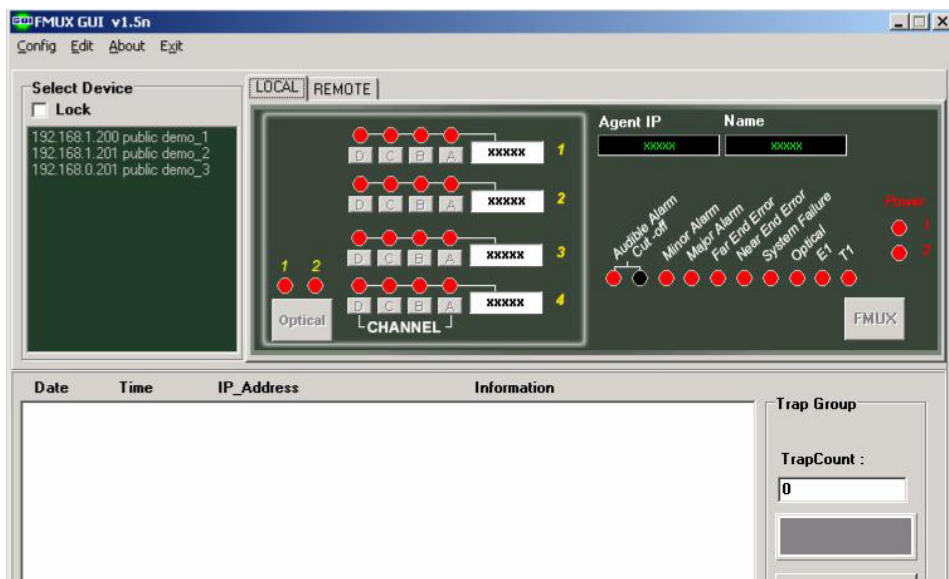


Рисунок 4.5 – Основне меню програми дистанційного моніторингу FMUXGUI

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Визначити значення запасу за швидкодією ВОЛТ для забезпечення (широкосмуговості) роботоздатності ВОСП WDM в третьому вікні прозорості. Всі спектральні канали рівня STM-16 працюють з тактовою частотою $F = 2488$ МГц в NRZ-кодi. Визначити максимальне значення довжини регенераційної ділянки для заданого значення швидкодії ВОЛТ. Довжина оптичного кабелю становить 258,8 км. Робоча довжина хвилі 1550 нм. Значення швидкодії електро-оптичного перетворювача: час наростання ЕОП $t_{n,oen} = 0,12$ нс, ширина спектра випромінювання $\Delta\lambda = 0,18$ нм. Значення швидкодії оптичного волокна: хроматична дисперсія $\sigma_{xp} = 3,2$ пс/(нм·км), довжина оптичного кабелю з урахуванням запасу 1,5% $L_{ok} = 258,8$ км. Значення швидкодії опто-електричного перетворювача: ширина смуги пропускання $\Delta f_{n,oen} = 14$ ГГц.

3. Використовуючи технічний опис та інструкцію з експлуатації FMUX-01A, ознайомитись із призначенням команд програми FMUXGUI

4. Ознайомитись із процесом моніторингу роботи мультиплексора згідно порядку виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 4.6 наведено структуру лабораторного стенда ОТС на базі FMUX-01A. Для нормальної роботи програми керування за протоколом SNMP необхідний РС з такою конфігурацією: Центральний процесор: Pentium 1200 МГц. Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP. Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 60 МБ. Монітор: VGA. (1024×768). Миша / Клавіатура. Інтерфейс Ethernet.

Спочатку за допомогою нуль-модемного кабелю необхідно підключити ПК до оптичного мультиплексора. Після цього підключаємо тестер інтерфейсного сигналу ТИС-Е1 до одного з портів Е1 мультиплексора та до СОМ-порту ПК. Запускаємо на ПК програму TIS-Soft-E1 та переводимо тестер ТИС-Е1 в режим керування з ПК. Вмикаємо мультиплексор та запускаємо термінальну програму Nurer Terminal, в якій вибираємо тип підключення – СОМ1. При вдалому підключення отримуємо підтвердження у вікні результатів термінальної програми. Також виконуємо підключення ПК до оптичного мультиплексора через Ethernet порт. Після підтвердження про вдале підключення ПК до оптичного мультиплексора необхідно виконати налаштування програми дистанційного моніторингу FMUXGUI.

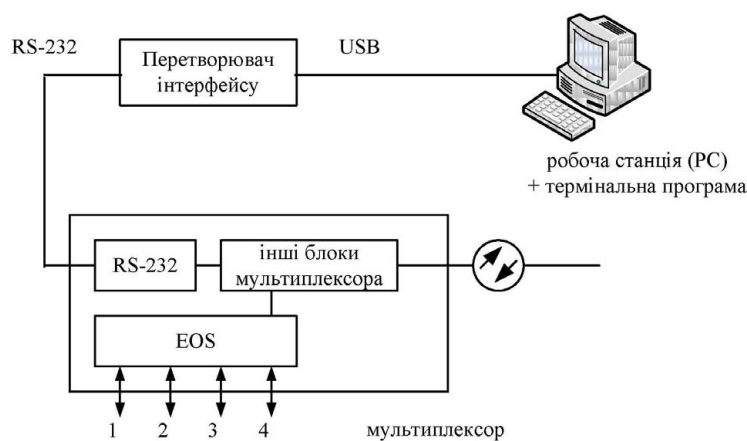


Рисунок 4.6 – Схема лабораторного стенда ОТС на базі FMUX-01A

Порядок виконання роботи

1. Використовуючи меню програми керування та моніторингу FMUXGUI вивчити призначення команд, необхідних для виконання п. 3 – 9 цієї роботи.

2. Здійснити підключення ПК та тестера інтерфейсних сигналів ТИС-Е1 до мультиплексора FMUX-01A згідно з рис. 4.6. Використовуючи термінальну програму Nurer Terminal (відповідно до правил), виконати заван-

таження заводських налаштувань параметрів конфігурації оптичного мультиплексора через пункт Load Default Setting в меню SYSTEM CONFIG.

Налаштування роботи термінальної програми Hyper Terminal з оптичним мультиплексором FMUX-01A:

- швидкість передачі – 19200 бод;
- біти даних – 8;
- перевірка парності – відсутня;
- стопові біти – 1.

Після цього виконати налаштування роботи системного таймера (встановити дату та час) через пункти DATE та TIME в меню DATE&TIME DISPLAY термінальної програми Hyper Terminal.

2. Використовуючи системні команди SNMP Card Config в меню Define System Parameter визначити IP адресу та маску мережі оптичного мультиплексора. Після цього виконати налаштування IP адреси та маски мережі для карти локальної мережі на ПК таким чином, щоб ПК та оптичний мультиплексор знаходився в одній локальній мережі. Для перевірки правильності налаштування локальної мережі на ПК, необхідно виконати в командному рядку таку команду – ping XX.XX.XXX.XX -t (при цьому ПК має бути підключеним до SNMP-інтерфейсу оптичного мультиплексора). Після підтвердження про вдале підключення ПК до оптичного мультиплексора необхідно запустити програму керування FMUXGUI. При правильному налаштуванні мультиплексор надасть запит про введення пароля «1021». В результаті отримаємо доступ до оптичного мультиплексора через Ethernet мережу. Після цього потрібно підключити до мультиплексора тестер ТИС-Е1 та запустити на ПК програму TIS-Soft-E1 для виконання тестування портів Е1. Перевести тестер ТИС-Е1 в режим керування з ПК. Виконати команди «Связь» та «Старт» (відбудеться активація режиму зчитування інформації з тестера ТИС-Е1 в пам'ять ПК).

Записати стан індикаторів на передній панелі та виконати через пункт Service меню PORT 1-E1 та PORT 2-E2 інсталяцію портів Е1-Е8 оптичного мультиплексора. Після виконання інсталяції портів Е1 записати стан індикаторів на передній панелі та вказати конфігурацію оптичного мультиплексора.

3. Виконати підключення ПК до мультиплексора FMUX-01A за допомогою термінальної програми Hyper Terminal. Запустити термінальну програму Hyper Terminal, вибрати необхідний СОМ-порт та виконати його налаштування згідно з правилами:

- швидкість передачі – 19200 бод;
- біти даних – 8;
- перевірка парності – відсутня;
- стопові біти – 1.

Підтвердженням підключення ПК до мультиплексора є поява в вікні Hyper Terminal стартової сторінки оптичного мультиплексора з вибором типу підключення 1-Local Login та 2-Remote Login. Використавши меню 1-

Local Login перевірити та записати стан інтерфейсів мультиплексора за допомогою команди Display System Status. Після цього за допомогою меню Define System Parameter команди Define Port Parameter вимкнути всі задіяні порти E1 та записати стан індикаторів на передній панелі мультиплексора FMUX-01A. Використовуючи меню Define System Parameter, Alarm Buffer Display та Performance Display, обнулити лічильники аварій оптичного мультиплексора.

3. Використовуючи системні команди Optical Port Config в меню Define System Parameter, за допомогою тестових шлейфів виконати перевірку оптичного інтерфейсу мультиплексора FMUX-01A (рис. 4.7). Результати виконання п. 3 записати до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

| № вар. | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню BERT Result до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|--|---|---|--|---|
| 1 | RRL | | | | | |
| 2 | RL | | | | | |
| 3 | LL | | | | | |

Продовження таблиці 4.1

| № вар. | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню BERT Result після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|---|--|--|---|--|
| 1 | RRL | | | | | |
| 2 | RL | | | | | |
| 3 | LL | | | | | |

Після виконання п. 3, необхідно вимкнути всі задіяні тестові шлейфи за оптичним інтерфейсом мультиплексора FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних повідомлень в меню BERT Result, Alarm Threshold, Alarm Buffer Display та Performance Display.

4. Використовуючи системні команди Port E1 Config, в меню Define System Parameter виконати інсталяцію портів E1 мультиплексора FMUX-01A. Результати виконання п. 4 записати до табл. 4.2.

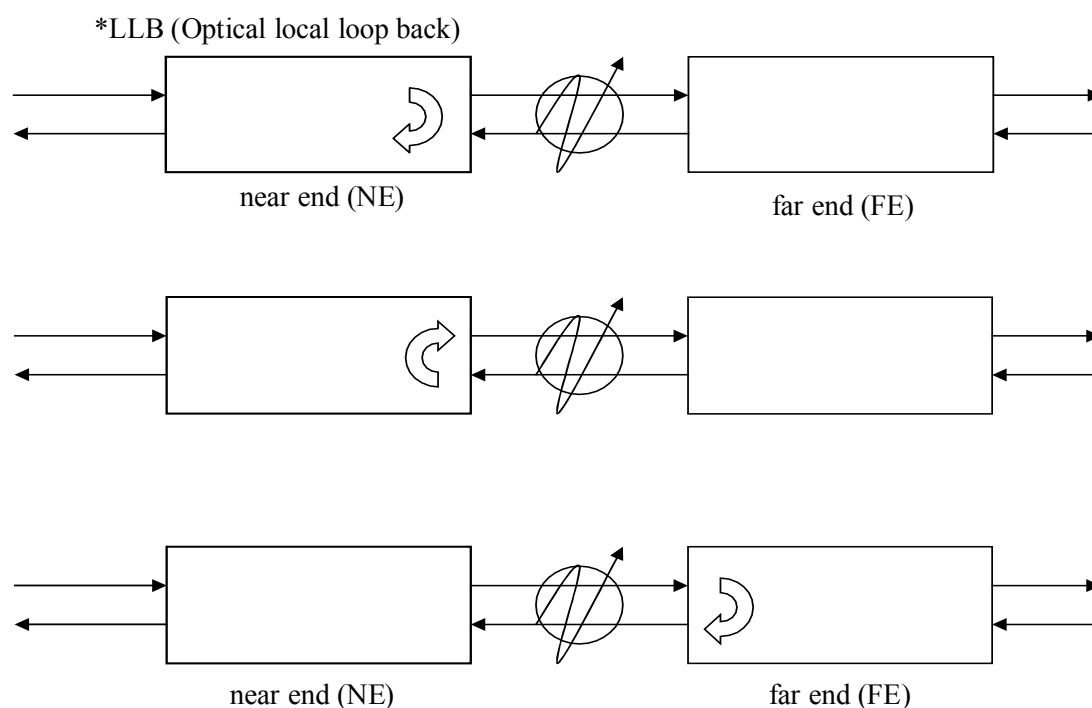


Рисунок 4.7 – Структурна схема організації тестового шлейфа за оптичним портом мультиплексора FMUX-01A

Таблиця 4.2

| № вар. | № задіяних портів E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню BERT Result до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|--|---|---|--|---|
| 1 | 1, 3, 5, 7 | | | | | |
| 2 | 2, 4, 6, 8 | | | | | |
| 3 | 3, 4, 5, 7 | | | | | |

Продовження таблиці 4.2

| № вар. | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню BERT Result після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|---|--|--|---|--|
| 1 | 1, 3, 5, 7 | | | | | |
| 2 | 2, 4, 6, 8 | | | | | |
| 3 | 3, 4, 5, 7 | | | | | |

Після виконання п. 4 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1 мультиплексора FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних

повідомлень в меню BERT Result, Alarm Threshold, Alarm Buffer Display та Performance Display.

5. Використовуючи системні команди Port E1 Config в меню Define System Parameter за допомогою тестових шлейфів виконати перевірку портів E1 мультиплексора FMUX-01A (рис. 4.8). Результати виконання п. 5 записати до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню BERT Result до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|----------------------|--|---|---|--|---|
| 1 | 1, 3 | LLB | | | | | |
| | 5, 7 | NELLB | | | | | |
| | 2, 4 | RLB | | | | | |
| | 6, 8 | RRLB | | | | | |
| 2 | 1, 2 | NELLB | | | | | |
| | 7, 8 | LLB | | | | | |
| | 3, 4 | RRLB | | | | | |
| | 5, 6 | RLB | | | | | |
| 3 | 1, 4 | RLB | | | | | |
| | 5, 8 | RRLB | | | | | |
| | 2, 3 | LLB | | | | | |
| | 6, 7 | NELLB | | | | | |

Продовження таблиці 4.3

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип тестових шлейфів | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню BERT Result після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|----------------------|---|--|--|---|--|
| 1 | 1, 3 | LLB | | | | | |
| | 5, 7 | NELLB | | | | | |
| | 2, 4 | RLB | | | | | |
| | 6, 8 | RRLB | | | | | |
| 2 | 1, 2 | NELLB | | | | | |
| | 7, 8 | LLB | | | | | |
| | 3, 4 | RRLB | | | | | |
| | 5, 6 | RLB | | | | | |
| 3 | 1, 4 | RLB | | | | | |
| | 5, 8 | RRLB | | | | | |
| | 2, 3 | LLB | | | | | |
| | 6, 7 | NELLB | | | | | |

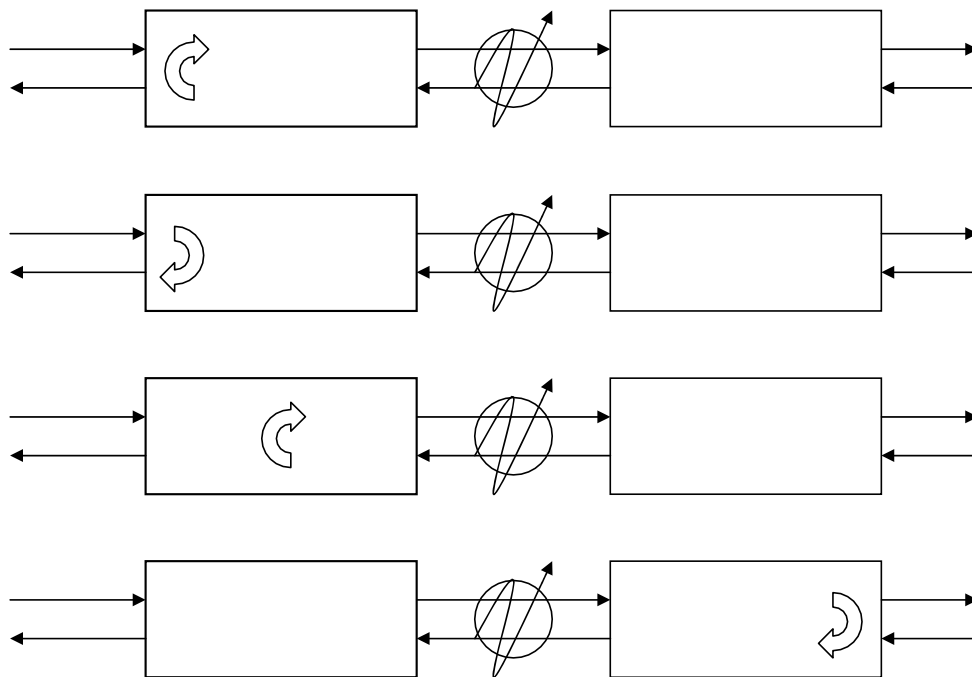


Рисунок 4.8 – Структурна схема організації тестового шлейфа за портом E1 оптичного мультиплексора

Після виконання п. 5 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1 мультиплексора FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних повідомлень в меню BERT Result, Alarm Threshold, Alarm Buffer Display та Performance Display.

6. Використовуючи системні команди Port E1 Config в меню Define System Parameter, виконати налаштування кодів портів E1 мультиплексора FMUX-01A. Результати виконання п. 6 записати до табл. 4.4.

Таблиця 4.4

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип коду за портом E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status до початку робіт | Зміст меню Define Port Parameter до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold до початку робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display до початку робіт | Стан параметрів меню Performance Display до початку робіт |
|--------|----------------------|-----------------------|--|---|---|--|---|
| 1 | 3, 4 5, 6 | HDB3 | | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | AMI | | | | | |
| 2 | 3, 4 5, 6 | AMI | | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | HDB3 | | | | | |
| 3 | 1, 4 5, 8 | HDB3 | | | | | |
| | 2, 3 6, 7 | AMI | | | | | |

Продовження таблиці 4.4

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип коду за портом E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплексо-ра та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст меню Define Port Parameter після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Threshold після виконання робіт | Стан параметрів меню Alarm Buffer Display після виконання робіт | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|-----------------------|--|--|--|---|--|
| 1 | 3, 4 5, 6 | HDB3 | | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | AMI | | | | | |
| 2 | 3, 4 5, 6 | AMI | | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | HDB3 | | | | | |
| 3 | 1, 4 5, 8 | HDB3 | | | | | |
| | 2, 3 6, 7 | AMI | | | | | |

Після виконання п. 6 необхідно вимкнути всі задіяні порти E1 мультиплексо-ра FMUX-01A. Також необхідно обнулити лічильники аварійних повідомлень в меню Alarm Threshold, Alarm Buffer Display та Performance Display.

7. Використовуючи системні команди SNMP Card Config в меню Define System Parameter, визначити IP адресу та маску мережі оптичного мультиплексо-ра. Після цього виконати налаштування IP адреси та маски мережі для карти локальної мережі на ПК таким чином, щоб ПК та оптичний мультиплексо-р знаходилися в одній локальній мережі. Для перевірки правильності налаштування локальної мережі на ПК необхідно виконати в командній стрічці таку команду – ping XX.XX.XXX.XX -t (при цьому ПК має бути підключеним до SNMP-інтерфейсу оптичного мультиплексо-ра). Після підтвердження про вдале підключення ПК до оптичного мультиплексо-ра, необхідно в командній стрічці виконати команду telnet «IP-мультиплексо-ра». При правильному налаштуванні мультиплексо-р надасть запит про введення паролю «1021». В результаті отримаємо доступ до оптичного мультиплексо-ра через Ethernet мережу. Після цього підключити до мультиплексо-ра тестер ТИС-Е1 та запустити на ПК програму TIS-Soft-E1 для виконання тестування групового тракту портів E1 за допомогою тестових шлейфів. Перевести тестер ТИС-Е1 в режим керування з ПК. Виконати команди «Св'язь» та «Старт» (відбудеться активація режиму зчитування інформації з тестера ТИС-Е1 в пам'ять ПК) та записати результати вимірювання з меню та таблиці результатів, які після виконання п. 7 записати до табл. 4.5.

8. Створити імітацію пошкодження оптичної лінії зв'язку шляхом відключення ОВ з входу оптичного інтерфейсу. Після цього записати зміни в стані індикаторів на передній панелі мультиплексо-ра та порівняти їх із записами в меню Display System Status термінальної програми. Далі встано-

вити тестовий шлейф за оптичним трактом та порівняти результати спостережень стану роботи мультиплексора з п. 3.

Таблиця 4.5

| № вар. | № задіяних портів E1 | Тип тестових шлейфів | Тип коду за портом E1 | Зміст інформаційного повідомлення до виконання робіт в меню та таблиці результатів програми TIS-Soft-E1 | Стан індикаторів на панелі мультиплексора та в меню Display System Status після виконання робіт | Зміст інформаційного повідомлення про виконання робіт в меню та таблиці результатів програми TIS-Soft-E1 | Стан параметрів меню Performance Display після виконання робіт |
|--------|----------------------|----------------------|-----------------------|---|---|--|--|
| 1 | 1, 2 3, 4 | - | AMI | | | | |
| | 5, 6 7, 8 | LLB | HDB3 | | | | |
| 2 | 5, 6 7, 8 | NELLB | AMI | | | | |
| | 1, 2 3, 4 | - | HDB3 | | | | |
| 3 | 3, 4 5, 6 | - | AMI | | | | |
| | 1, 2 7, 8 | RLB | HDB3 | | | | |

Після виконання п. 8 необхідно вимкнути оптичний інтерфейс за допомогою системних команд Optical Port Config в меню Define System Parameter та відключити мультиплексор від мережі електроживлення.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми тестових шлейфів для перевірки роботоздатності інтерфейсних портів мультиплексора, заповнені таблиці 4.1 – 4.5 проведених досліджень та висновки щодо особливостей налаштування режимів та керування роботою оптичного мультиплексора FMUX-01A.

Контрольні запитання

1. Вкажіть призначення мультиплексора FMUX-01A.
2. Які варіанти транспортних мереж ПЦІ можливо будувати з використанням FMUX-01A?
3. Які функціональні блоки входять до складу мультиплексора?
4. Перелічіть способи моніторингу стану та керування мультиплексором.
5. Вкажіть швидкість групового інформаційного потоку для FMUX-01A.
6. Які типи тестових шлейфів можна організувати в мультиплексорі FMUX-01A?
7. Перелічіть типи аварійної сигналізації, яка розміщена на передній панелі мультиплексора FMUX-01A.

Лабораторна робота № 5

Тема: Дослідження основних параметрів ВОЛТ за допомогою програми OptiPerformer 15.

Мета роботи: Виконати дослідження функціональних характеристик ВОЛТ та ВОЛЗ за допомогою програми OptiPerformer 15.

- Обладнання:**
1. Персональний комп'ютер з ОС Windows 7 (64);
 2. Програмне забезпечення OptiPerformer 15;
 3. Методичні вказівки по роботі з OptiPerformer 15;
 4. Файли проектів для дослідження ВОЛТ в програмі OptiPerformer 15.

Теоретичні відомості

Необхідно виконати комп'ютерне моделювання основних характеристик цифрових оптичних трактів в програмі OptiPerformer, основне меню якої відображено на рисунку 5.1.

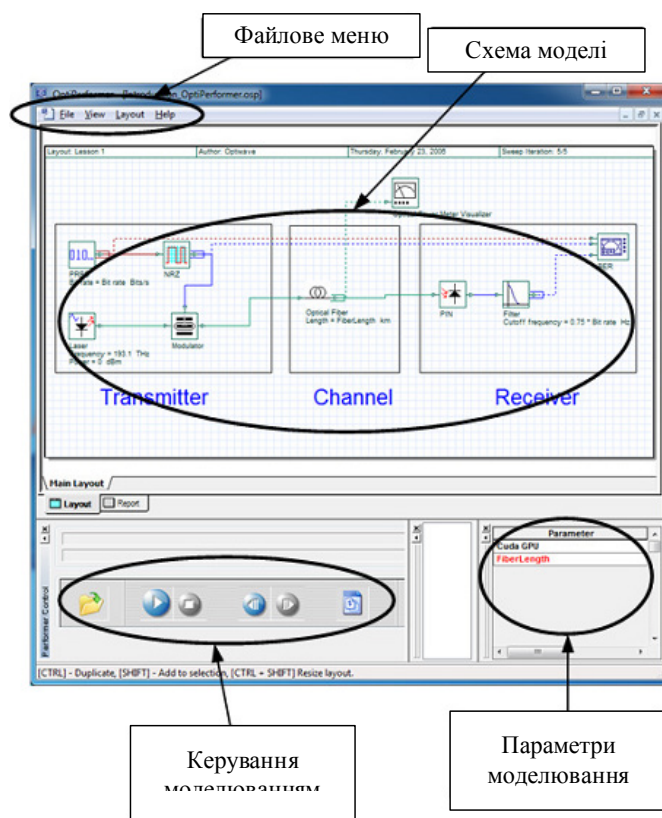


Рисунок 5.1 – Загальний вигляд програми OptiPerformer

Панель схеми моделі (Main Layout) відображає структурну схему моделі ВОСП, яка складається з функціональних блоків та засобів вимірювання. Результати моделювання відображаються у вікні (Report).

Панель керування моделюванням (Performer Control) складається з піктограм для швидкого доступу до операцій з файловим меню, опис якого наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Елементи керування моделюванням ВОСП в програмі OptiPerformer

| Піктограма | Опис |
|---|-----------------------------|
|  | Відкрити файл |
|  | Запуск моделювання |
|  | Перервати моделювання |
|  | Показати попередню ітерацію |
|  | Показати наступну ітерацію |

В панелі параметрів моделювання (Parameter Settings) відображається таблиця з параметрами моделі ВОСП (довжина ВОЛЗ, вихідна потужність джерела випромінювання, затухання та ін.), рисунок 5.2.

| Parameter | Value |
|------------------------|--------------------------|
| Cuda GPU | <input type="checkbox"/> |
| FiberLength (km) | 50 |
| LaserOutputPower (dBm) | 0 |
| Attenuation (dB) | 0 |
| PINThermalNoise (W/Hz) | 8.969999999999999e-024 |
| Wavelength (nm) | 1550 |

Рисунок 5.2 – Приклад таблиці введення (зміни) параметрів ВОСП

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Визначити значення запасу за швидкодією ВОЛТ для забезпечення (широкопasmовості) роботоздатності ВОСП СЦІ в другому вікні прозорості з тактовою частотою $F = 155,52$ МГц в NRZ-кодi. Визначити максимальне значення довжини регенераційної ділянки для заданого значення швидкодії ВОЛТ. Довжина оптичного кабелю з одномодовим ОВ становить 90 км. Робоча довжина хвилі 1310 нм. Значення швидкодії електрооптичного перетворювача: час наростання ЕОП $t_{н.еоп} = 2,6$ нс, ширина спектра випромінювання $\Delta\lambda = 21$ нм. Значення швидкодії оптичного волокна: матеріальна дисперсія $\sigma_m = -0,007$ нс/(нм·км), хвилеводна дисперсія

$\sigma_{xg} = 0,006$ нс/(нм·км), довжина оптичного кабелю з урахуванням запасу 1,5% $L_{ok} = 90$ км. Значення швидкодії опто-електричного перетворювача: час наростання $t_{н.оен} = 1,6$ нс.

3. Використовуючи технічний опис та інструкцію з використання OptiPerformer, ознайомитись із призначенням команд програми.

4. Ознайомитись із процесом конфігурування блоків ВОСП згідно з порядком виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 5.3 наведено лабораторного стенда дослідження ОТС на базі ПК.

Minimum System Requirements (OptiPerformer)

PC with Pentium III/AMD Processor (or higher)
Microsoft Windows XP (SP2 or higher)/Vista/Windows 7
100 MB Free Hard Drive space
512 MB of RAM (or higher)
Direct X 8.1 (or higher)
1024 x 768 Graphic resolution, min. Hi-Color (16-bit)



Рисунок 5.3 – Структурна схема лабораторного стенда дослідження ОТС на базі ПК

Порядок виконання роботи

1. Для дослідження параметрів ВОСП необхідно спочатку запусити програму OptiPerformer та відкрити файл Introduction_OptiPerformer.osp, в якому створено просту модель ВОЛТ (рисунок 5.4), що складається з оптичного передавача (Transmitter), оптичного тракту (Channel) та оптичного приймача (Receiver).

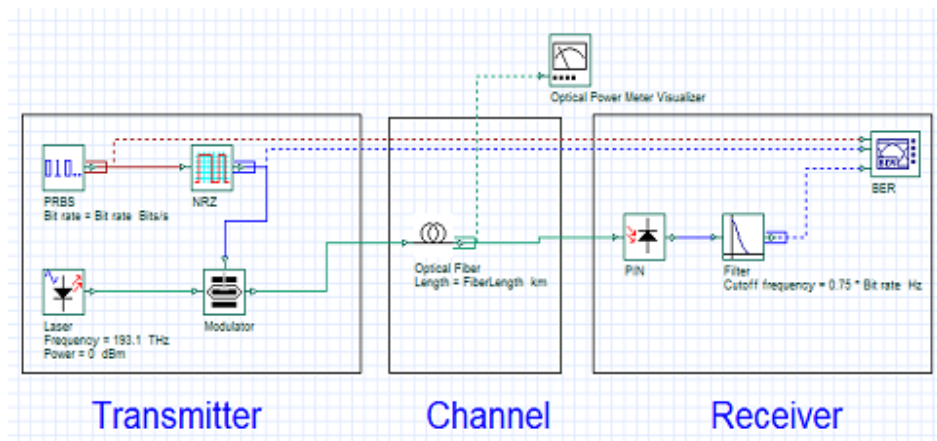


Рисунок 5.4 – Узагальнена структурна схема комп’ютерної моделі ВОЛТ

До складу оптичного передавача входять:

- джерело псевдовипадкового двійкового сигналу (PRBS), яке генерує псевдовипадковий сигнал з швидкістю 2,5 Гбіт/с;
- перетворювач коду (NRZ);
- джерело оптичного сигналу (Laser) з робочою частотою 193,1 ТГц;
- оптичний модулятор (Modulator).

До виходу ВОЛЗ (Optical Fiber) підключено вимірювач потужності (Optical Power Meter Visualizer).

Оптичний передавач складається з:

- р-і-п фотодіода (PIN);
- фільтра нижніх частот (Filter) з частотою відсічки $0,75 \times 2,5$ ГГц;
- аналізатора помилок (BER).

Після запуску моделювання необхідно дочекатись появи повідомлення «Calculation finished!». Моделювання необхідно проводити для п’яти довжин ВОЛЗ в діапазоні від 50 до 150 км.

Записати значення рівня потужності на вході оптичного тракту P_S (Power) 0 дБп. Після цього за допомогою вимірювача потужності (**Optical Power Meter Visualizer**) (рисунок 5.5) визначити значення рівня потужності сигналу (**Signal Power**) на виході ВОЛЗ P_R для різних значень довжини ОВ (**Fiber Length**).



Рисунок 5.5 – Загальний вигляд вимірювача потужності оптичних сигналів у ВОЛЗ

Результати вимірювань необхідно записати до таблиці 5.2. Виконати розрахунок рівня потужності у ВОЛТ для всіх довжин ВОЛЗ (А, дБ), та результати записати до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Параметри ВОЛТ

| | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|
| L , км | | | | | |
| P_R , дБп | | | | | |
| A , дБ | | | | | |
| Q | | | | | |

За допомогою аналізатору помилок (**BER Analyzer**), загальний вигляд якого показано на рисунку 5.6, визначити максимальні значення Q-фактора (**Max. Q Factor**) в точці прийняття рішення. Зафіксувати діаграму зміни Q-фактора від розміщення точки прийняття рішення для максимальної довжини ВОЛЗ.

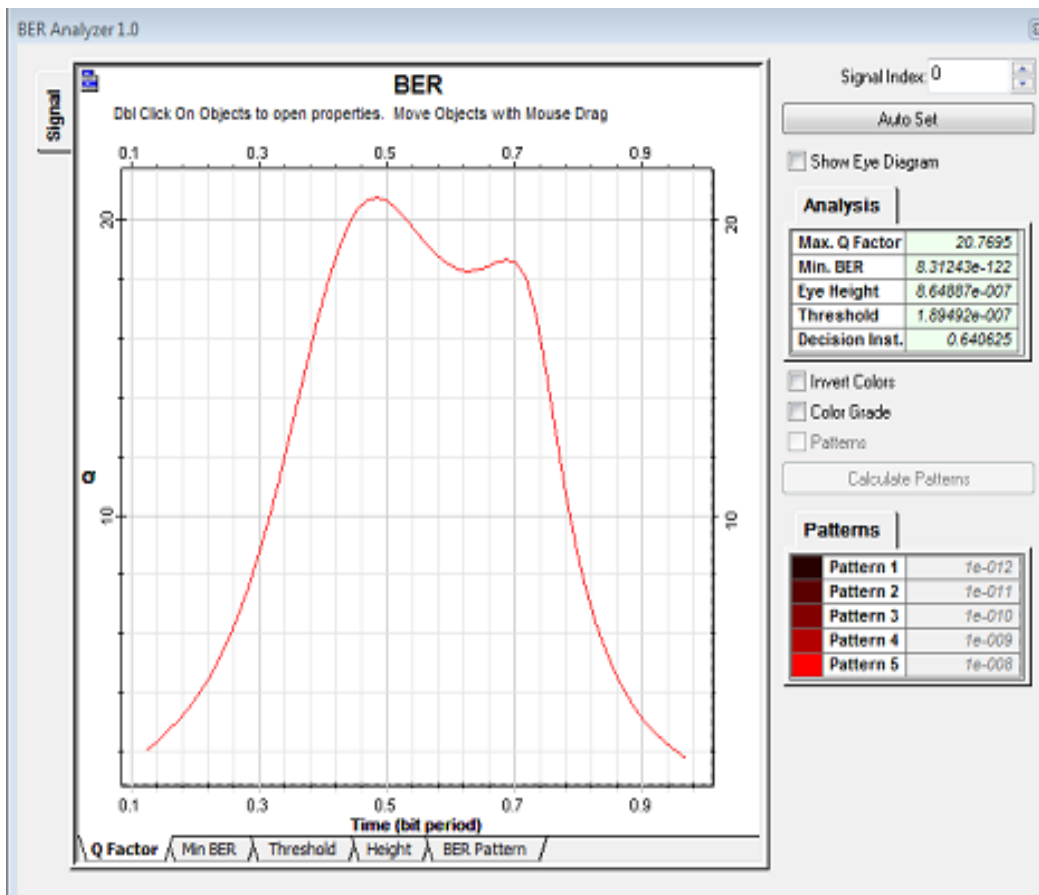


Рисунок 5.6 – Загальний вигляд аналізатора помилок

Також необхідно зафіксувати око-діаграму (**Show Eye Diagram**), (рисунок 5.7) для максимальної та мінімальної довжин ВОЛТ.

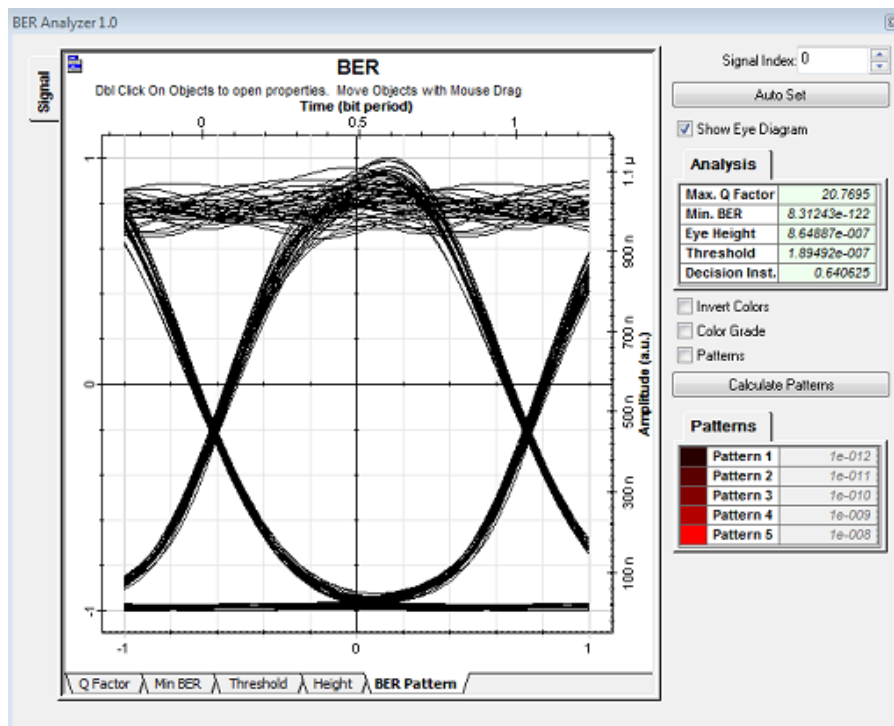


Рисунок 5.7 – Загальний вигляд аналізатора око-діаграми

Відобразити графіки залежностей A та Q від довжини ВОЛТ. Відобразити діаграму зміни Q -фактора. Відобразити око-діаграми для максимальної та мінімальної довжини ВОЛТ. Пояснити результати моделювання.

2. Виконати вимірювання чутливості приймального оптичного модуля ВОСП.

Чутливістю ПРОМ є мінімальний рівень потужності оптичного сигналу на його вході, при якому значення коефіцієнта помилок відповідає допустимим нормам.

Значення чутливості ПРОМ з урахуванням теплового шуму можна визначити за формулою

$$p_R = Q \frac{\sigma_T}{R}, \quad (5.1)$$

де Q – необхідне значення Q -фактора; σ_T – середньоквадратичне значення струму теплового шуму, А; R – чутливість фотодіода, А/Вт.

Значення середньоквадратичного струму через вплив теплового шуму можна визначити за виразом

$$\sigma_T^2 = W_T \Delta F, \quad (5.2)$$

де W_T – спектральна густина потужності теплового шуму, Вт/Гц; ΔF – ширина смуги пропускання ПРОМ, Гц.

Розрахунок чутливості необхідно виконувати з урахуванням вихідних даних, що вказані в таблиці 5.3, де N – остання цифра номера залікової книжки, M – передостання цифра номера залікової книжки.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для розрахунку чутливості оптичного приймача

| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Швидкість передачі, B | 2,5 Гбіт/с |
| Смуга пропускання, ΔF | $1,65 \times B$ |
| Спектральна густина шуму W_T | $N, M \times 10^{-22}$ Вт/Гц |
| Q-фактор | 6 |
| Чутливість фотодіода, R | 1 А/Вт |

Дослідження чутливості оптичного приймача ВОСП можна також здійснити за допомогою програми OptiPerformer та комп'ютерної моделі, що знаходиться у файлі Receiver_Sensitivity.osp.

Модель ВОСП (рисунок 5.8) складається з: джерела оптичного сигналу (**Laser**) модулятора NRZ (**Modulator**) оптичного атенюатора (**Optical Attenuator**); р-і-п фотодіода (**Photodetector PIN**) з ФНЧ; вимірювачів потужності та аналізатора помилок.

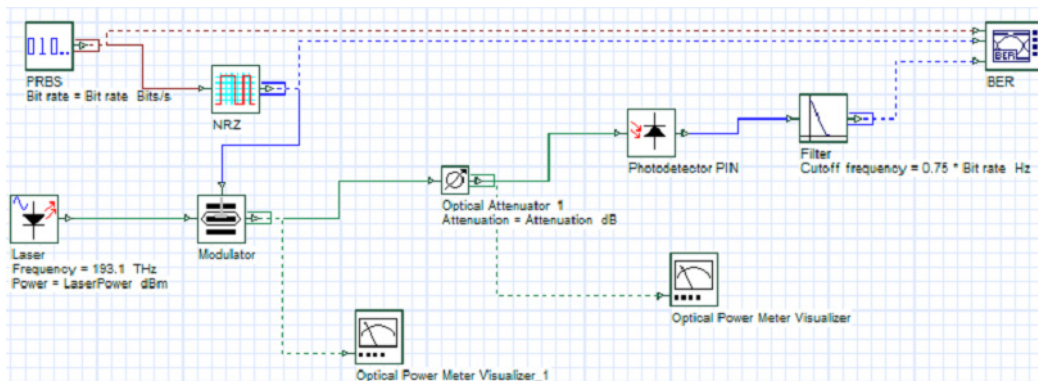


Рисунок 5.8 – Узагальнена схема моделі ВОСП

Спочатку необхідно встановити початкове значення затухання атенюатора (**Attenuation**) – 15 дБ, значення спектральної густини потужності теплового шуму (**ThermalNoise**) згідно з таблицею 5.3. Інші параметри залишаються без змін. Значення всіх параметрів необхідно записати.

Після запуску та виконання моделювання за допомогою аналізатора помилок необхідно визначити значення Q-фактора.

Змінюючи затухання атенюатора необхідно досягнути значення Q-фактора – $6 \pm 0,1$. Після цього за допомогою вимірювача потужності необхідно визначити значення рівня потужності на виході атенюатора (чутливість ПРОМ). Порівняти отримане значення чутливості з розрахованим та зробити висновки про точність отриманих результатів.

3. Виконати дослідження дисперсійних спотворень оптичних імпульсів в оптичному тракті.

У випадку, коли спектральна ширина джерела випромінювання значно менша ефективної ширини спектра оптичного сигналу, тоді передатну характеристику ВОЛТ можна подати за допомогою функції Гаусса:

$$H(\omega) = \exp(-\Delta\sigma^2\omega^2), \quad (5.3)$$

де $\Delta\sigma$ – середньоквадратичне розширення оптичного імпульсу, яке можна визначити за формулою

$$\Delta\sigma = LD(\lambda)\Delta\lambda, \quad (5.4)$$

де L – довжина ВОЛЗ; $D(\lambda)$ – коефіцієнт хроматичної дисперсії ОВ на робочій довжині хвилі λ , $\Delta\lambda$ – середньоквадратична ширина спектра джерела випромінювання.

Оптичний імпульс від джерела випромінювання з безпосередньою частотною модуляцією характеризується ступенем модуляції та визначається коефіцієнтом модуляції C рад/с.

Середньоквадратичну ширину спектра випромінювання джерела оптичного сигналу можна визначити за виразом

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2\sqrt{1+C^2}}{2\pi c\sigma_{in}}, \quad (5.5)$$

де c – швидкість світла у вакуумі; σ_{in} – середньоквадратична тривалість імпульсу на вході ВОЛТ; λ – центральна (робоча) довжина хвилі випромінювання джерела оптичного сигналу.

Середньоквадратичну тривалість імпульсу на виході тракту можна визначити за формулою

$$\sigma_{out} = \sqrt{\sigma_{in}^2 + \Delta\sigma^2}. \quad (5.6)$$

На практиці, при проведенні вимірювань, замість середньоквадратичної тривалості (RMS) використовують тривалість за половинної потужності від максимальної (FWHM). Для гаусових імпульсів ці тривалості пов'язані співвідношенням:

$$\tau = 1,665\sigma. \quad (5.7)$$

Ширини спектрів RMS та FWHM пов'язані аналогічним чином.

Використовуючи вихідні дані, що в таблиці 5.4 (N – остання цифра номера залікової книжки, M – передостання цифра номера залікової книжки), визначити параметри гаусівського імпульсу на вході та виході ВОЛТ.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для розрахунку параметрів гаусівського імпульсу

| | |
|--|-----------------------------|
| Швидкість передачі, B | 2,5 Гбіт/с |
| Робоча довжина хвилі, λ | 1550 нм |
| Тривалість імпульсу на вході, τ_{in} | 0,5/В |
| Коефіцієнт частотної модуляції, C | -6 рад/с |
| Довжина ОВ, L | $30 + N \times 10 + M$, км |
| Коефіцієнт хроматичної дисперсії, $D(\lambda)$ | 17 пс/(нм·км) |

Результати виконаних розрахунків параметрів гаусівського імпульсу на вході та виході заданого ВОЛТ необхідно записати до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати розрахунків параметрів ВОЛТ

| | |
|-----------------------------|--|
| L , км | |
| τ_{in} , пс | |
| σ_{in} , пс | |
| $\Delta\lambda$, нм | |
| $\Delta\lambda_{FWHM}$, нм | |
| $\Delta\sigma$, пс | |
| σ_{out} , пс | |
| τ_{out} , пс | |

Дослідження спотворення оптичних сигналів у ВОЛТ також можна здійснити за допомогою програми **OptiPerformer** та моделі ВОЛЗ, що знаходиться у файлі **Gaussian_Pulse_Propagation.org**.

Модель ВОЛЗ (рисунок 5.9) складається з: джерела двійкового сигналу з швидкістю 2,5 Гбіт/с (**Bit Sequence Generator**) оптичного генератора гаусових імпульсів (**Optical Gaussian Pulse Generator**) простого оптичного тракту, що складається з ділянки ВОЛЗ на основі одномодового ОВ (**Optical Fiber**) оптичного аналізатора спектра (**Optical Spectrum Analyser**), який підключено до виходу ВОЛЗ; пристрою відображення параметрів оптичного сигналу (**Optical Time Domain Visualizer**), що підключені на вході та виході ВОЛЗ.

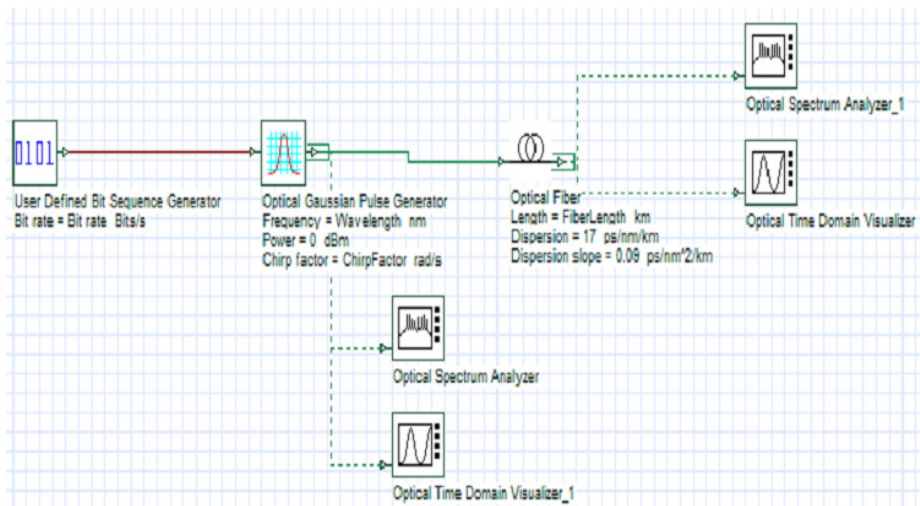


Рисунок 5.9 – Узагальнена схема комп’ютерної моделі ВОЛЗ

В параметрах моделі ВОЛЗ необхідно вказати значення довжини ОВ (**FiberLength**) та коефіцієнта частотної модуляції (**ChirpFactor**) відповідно до вихідних даних, що вказані в таблиці 5.4.

Після запуску та завершення моделювання, за допомогою оптичного аналізатора спектра (рис. 5.10), необхідно (за допомогою маркерів А, В) визначити ширину спектра випромінювання джерела оптичного сигналу на рівні половини від максимальної потужності ($\Delta\lambda_{FWHM}$).

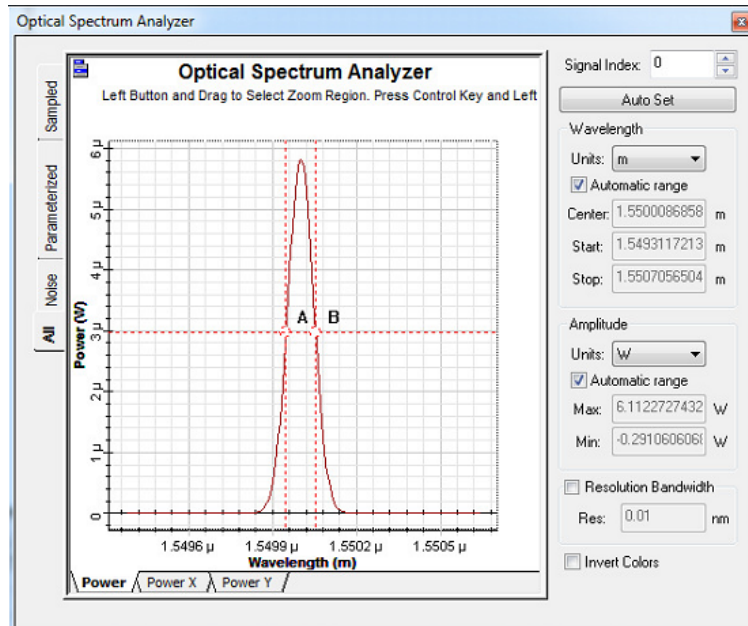


Рисунок 5.10 – Загальний вигляд аналізатора спектра оптичного сигналу на вході ВОЛЗ

Відстань між маркерами вказує значення ширини спектра випромінювання джерела оптичного сигналу. Необхідно виконати вимірювання

тривалості оптичного імпульсу на вході (τ_{in}) та виході (τ_{out}) ВОЛЗ (рис. 5.10, 5.11).

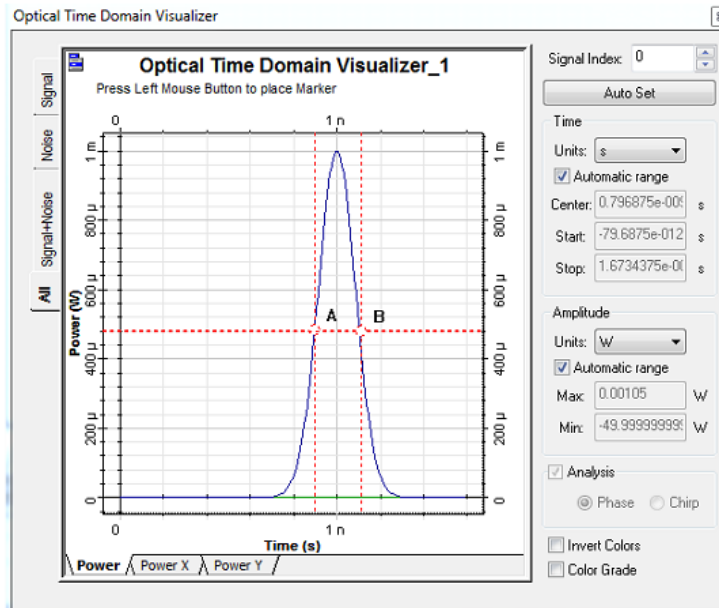


Рисунок 5.11 – Загальний вигляд аналізатора спектра оптичного сигналу на виході ВОЛЗ

Результати вимірювання необхідно записати до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Результати вимірювання параметрів джерела оптичного сигналу у ВОЛТ

| | |
|-----------------------------|--|
| $\Delta\lambda_{FWHM}$, нм | |
| τ_{in} , пс | |
| τ_{out} , пс | |

Порівняйте параметри джерела оптичного випромінювання з таблиць 5.5 та 5.6 і запишіть висновки про отримані результати.

4. Виконати розрахунок та комп'ютерне моделювання запасу за бюджетом потужності ВОЛТ.

Для забезпечення робочого режиму функціонування ВОЛТ необхідно створити умови виконання співвідношення (запасу за бюджетом потужності):

$$P_S - P_R \geq \alpha L + A_{ood}, \quad (5.8)$$

де P_S – рівень потужності джерела випромінювання оптичного сигналу; P_R – чутливість оптичного приймача; L – довжина ВОЛЗ; α – коефіцієнт затухання в ОВ; A_{ood} – додаткові втрати у ВОК.

Додаткові втрати можна визначити за формулою

$$A_{\text{дод}} = A_n + A_r + A_p + P_n + A_s, \quad (5.9)$$

де A_n – значення втрат потужності оптичних сигналів в нерознімних (зварних) з'єднаннях ВОЛЗ; A_r – значення втрат потужності оптичних сигналів на рознімних (конекторах) з'єднаннях ВОЛЗ; A_p – значення втрат потужності оптичних сигналів в пасивних компонентах ВОЛТ; P_n – сума додаткових втрат потужності оптичних сигналів через вплив дисперсії, шумів та спотворень; A_s – значення додаткового експлуатаційного запасу за енергетичним потенціалом для станційного обладнання ВОЛТ.

Значення втрат потужності оптичних сигналів в нерознімних (зварних) з'єднаннях можна визначити за виразом

$$A_n = \alpha_n N_n, \quad (5.10)$$

де α_n – середнє значення втрат потужності оптичних сигналів в одному нерознімному (зварному) з'єднанні; N_n – загальна кількість нерознімних (зварних) з'єднань у ВОЛЗ.

Значення втрат потужності оптичних сигналів в рознімних (конекторах) з'єднаннях можна визначити за формулою

$$A_r = \alpha_r N_r, \quad (5.11)$$

де α_r – середнє значення втрат потужності оптичних сигналів в одному рознімному (конекторі) з'єднанні; N_r – загальна кількість рознімних (конекторів) з'єднань у ВОЛТ.

Втрати потужності оптичних сигналів в пасивних компонентах (A_p) складаються з суми втрат усіх пасивних компонентів ВОЛТ (ізоляторів, розгалужувачів, фільтрів та ін.).

Сума штрафів за потужністю оптичних сигналів (P_n) складається з штрафів за потужністю через вплив окремих негативних факторів (дисперсії, шумів, спотворень та ін.).

Значення експлуатаційного запасу за потужністю оптичних сигналів у ВОЛТ (A_s) необхідно визначати з урахування типу та умов прокладання ВОК, довжини лінійного тракту, складності експлуатації та ін.

За заданих параметрів швидкодії ВОСП (2,5 Гбіт/с та 10 Гбіт/с) необхідно визначити максимально допустимі довжини ділянок оптичного підсилення.

Для цього, використовуючи вихідні співвідношення та параметри ВОЛТ (табл. 5.7), необхідно визначити максимально допустиму довжину ВОК (для інформаційного потоку 2,5 Гбіт/с та 10 Гбіт/с) (N – остання цифра номера залікової книжки, M – передостання цифра номера залікової книжки).

Таблиця 5.7 – Вихідні дані для визначення довжини ВОЛТ

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Швидкість передачі, B | 2,5 Гбіт/с |
| Робоча довжина хвилі, λ | 1550 нм |
| P_S | -3 дБп |
| P_R | -30 дБп |
| P_R | -27 дБп (10Гбіт/с) |
| α | 0,19 дБ/км |
| α_n | 0,1 дБ |
| N_n | $N \times 2 + 2$ |
| α_r | 0,5 дБ |
| N_r | 2 (M – пар.) 2 (M – непар.) |
| A_p | 0 |
| P_n | 1 дБ |
| A_S | 4 дБ |

Результати виконаних розрахунків необхідно записати до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Результати розрахунку основних енергетичних параметрів ВОЛТ

| | |
|-----------------------|--|
| A_n | |
| A_r | |
| $A_{\text{доо}}$ | |
| L_{max} , км | |

Дослідження параметрів передавання ВОЛЗ також можна здійснити за допомогою програми **OptiPerformer** та моделі ВОЛТ, що знаходиться у файлі **Attenuation Limited Fiber Length – 2.5GB.ops**. Передавальна частина моделі ВОЛТ (рисунок 5.12) складається з: джерела двійкового сигналу з швидкістю 2,5 Гбіт/с (**PRBS**) блока формування лінійного коду без повернення до нуля (**NRZ**) джерела оптичного сигналу (**Laser**) та модулятора оптичного сигналу за інтенсивністю (**Modulator**). Середовище передавання інформаційних оптичних сигналів складається з **ОВ (Optical**

Fiber) та оптичного атенюатора (**Optical Attenuator**). Приймальна частина ВОЛТ складається з р-і-n фотодіода (**PIN**) ФНЧ (**Filter**). Також до складу ВОЛТ входять засоби вимірювання параметрів та характеристик станційного та лінійного обладнання: вимірювач потужності оптичних сигналів (**Optical Power Visualizer**) і аналізатор помилок (**BER**) в інформаційному сигналі.

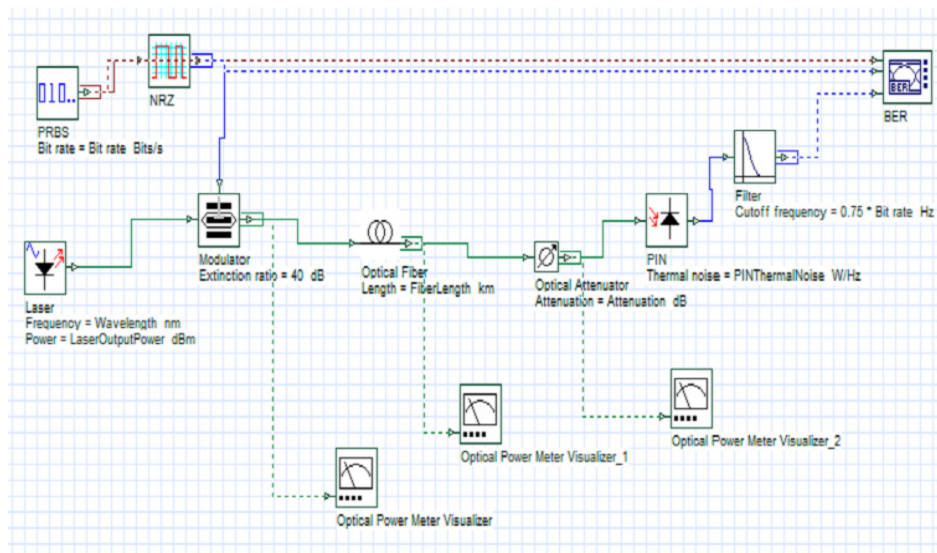


Рисунок 5.12 – Узагальнена схема моделі дослідження параметрів передавання ВОЛТ

Спочатку необхідно встановити початкове значення затухання довжини ВОЛЗ (**FiberLength**) згідно з результатами розрахунків. Після цього необхідно встановити значення затухання атенюатора (**Attenuation**), що дорівнює додатковим втратам потужності оптичних сигналів у ВОЛТ відповідно до проведених розрахунків. Інші параметри залишаються без змін. Після запуску та виконання моделювання, за допомогою вимірювача потужності оптичних сигналів визначити значення рівня потужності на вході ВОЛЗ (P_S), на виході ВОЛЗ (P_R), а за допомогою аналізатора помилок необхідно визначити значення Q-фактора та коефіцієнта помилок (**BER**) на виході ВОЛТ. Результати записати до таблиці 5.9. Після цього необхідно зарисувати око-діаграму інформаційного сигналу у ВОЛТ.

Визначити значення додаткового запасу за потужністю оптичних сигналів ($Q > 6$). При ($Q < 6$) необхідно зменшити затухання атенюатора до рівня, при якому значення Q-фактора буде становити $Q = 6 \pm 0,1$. Різницю між початковим та кінцевим значеннями затухання ($\pm \Delta A$) необхідно записати до таблиці 5.9.

Виконайте порівняння вимірених значень параметрів ВОЛТ з розрахованими значеннями, що в таблицях 5.7–5.8.

Використавши файл **Attenuation Limited Fiber Leght-10GB.osp**, виконати дослідження параметрів ВОЛТ на швидкості 10 Гбіт/с за вказаною послідовністю.

Таблиця 5.9 – Результати вимірювання параметрів ВОЛТ

| | |
|-------------|--|
| P_S , дБп | |
| P_R , дБп | |
| Q | |
| BER | |
| ΔA | |

5. Виконати дослідження методики коригування дисперсійних характеристик ВОЛТ.

Одним з основних способів компенсації накопиченої хроматичної дисперсії у ВОЛТ є використання компенсувальних ОВ з від'ємною дисперсією. При цьому у ВОЛТ має виконуватись співвідношення:

$$L_{SF}D_{SF} + L_{DCF}D_{DCF} = 0, \quad (5.12)$$

де L_{SF} – довжина стандартного телекомунікаційного ОВ; L_{DCF} – довжина ОВ з від'ємною хроматичною дисперсією; D_{SF} – значення коефіцієнта хроматичної дисперсії стандартного телекомунікаційного ОВ; D_{DCF} – значення коефіцієнта дисперсії ОВ з від'ємною хроматичною дисперсією.

Тому сумарне значення втрат потужності оптичних сигналів у ВОЛТ складається з втрат в стандартному телекомунікаційному ОВ та ОВ з від'ємною хроматичною дисперсією:

$$A_{OB} = \alpha_{SF}L_{SF} + \alpha_{DSF}L_{DSF}, \quad (5.13)$$

де α_{SF} та α_{DCF} – значення коефіцієнтів затухання в стандартному телекомунікаційному волокні та ОВ з від'ємною хроматичною дисперсією.

За допомогою формул (5.12) та (5.13) можна визначити максимально допустимі значення довжини стандартного телекомунікаційного волокна L_{SF} та ОВ з від'ємною хроматичною дисперсією у ВОЛТ. Вихідні дані для розрахунку вказані в таблиці 5.10.

Дослідження дисперсійних характеристик ВОЛЗ також можна здійснити за допомогою програми **OptiPerformer** та моделі ВОЛТ, що знаходиться у файлі **Dispersion_Compensation.osp**. Передавальна частина моделі ВОЛТ (рисунок 5.13) складається з: джерела двійкового сигналу з швидкістю 2,5 Гбіт/с (**PRBS**) блока формування лінійного коду без повернення до нуля (**NRZ**) джерела оптичного сигналу (**Laser**).

Таблиця 5.10 – Вихідні параметри ВОЛТ для розрахунку дисперсійних характеристик ВОЛЗ

| | |
|---------------------------------|--------------|
| Швидкість передачі, B | 2,5 Гбіт/с |
| Робоча довжина хвилі, λ | 1550 нм |
| P_S | 0 дБп |
| P_R | -35 дБп |
| α_{SF} | 0,19 дБ/км |
| α_{DSF} | 0.5 дБ/км |
| D_{SF} | 17пс/нм/км |
| D_{DSF} | -200пс/нм/км |
| A_{ood} | 6 дБ |

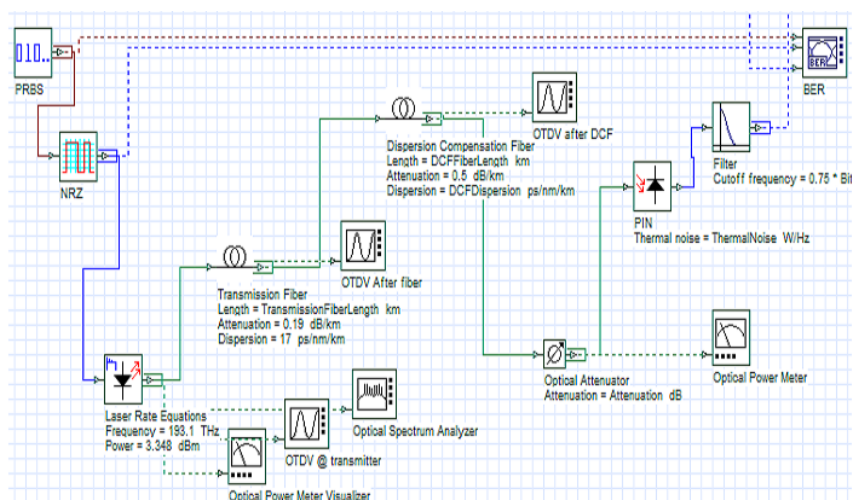


Рисунок 5.13 – Узагальнена схема моделі дослідження дисперсійних характеристик ВОЛТ

Середовище передавання інформаційних оптичних сигналів складається з стандартного телекомунікаційного волокна (**Transmission Fiber**) ОВ з від’ємною хроматичною дисперсією (**Dispersion Compensation Fiber**) та оптичного атенюатора (**Optical Attenuator**). Приймальна частина ВОЛТ складається з р-і-п фотодіода (**PIN**) ФНЧ (**Filter**). Також до складу ВОЛТ входять засоби вимірювання параметрів та характеристик станційного та лінійного обладнання: вимірювач потужності оптичних сигналів (**Optical Power Meter**), візуалізатор оптичних сигналів у ВОЛТ (**OTDV**), аналізатор помилок (**BER**) в інформаційному сигналі і аналізатор спектра оптичного сигналу у ВОЛТ (**Optical Spectrum Analyzer**).

Спочатку в таблиці параметрів моделі ВОЛТ необхідно записати вихідні параметри ВОЛЗ, що отримані при розрахунку довжини стандартного телекомунікаційного волокна (**TransmissionFiberLength**) та ОВ з від’ємною хроматичною дисперсією (**DCFFiberLength**). Після цього необхідно встановити значення затухання атенюатора (**Attenuation**), що відповідає додатковим втратам у ВОЛТ згідно з результатом розрахунку. Інші параметри залишити без змін.

Після запуску та виконання моделювання за допомогою вимірювача потужності оптичних сигналів визначити значення рівня потужності на вході ВОЛЗ (P_S), на виході ВОЛЗ (P_R), а за допомогою аналізатора помилок необхідно визначити значення Q-фактора та зарисувати око-діаграму інформаційного сигналу у ВОЛТ. Результати вимірювань записати до таблиці 5.11.

Встановити нульову довжину ОВ з від'ємною хроматичною дисперсією (**DCFFiberLenght**) та визначити за допомогою аналізатора помилок значення Q-фактора ВОЛТ і зарисувати око-діаграму.

Таблиця 5.11 – Результати моделювання дисперсійних характеристик ВОЛТ

| | |
|-------------------|--|
| L_{SF} , км | |
| L_{DCF} , км | |
| P_S , дБп | |
| P_R , дБп | |
| Q | |
| $Q (L_{DCF} = 0)$ | |

Виконати порівняння отриманих результатів моделювання дисперсійних характеристик ВОЛТ.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми комп'ютерних моделей для дослідження основних параметрів ВОЛТ за допомогою програми OptiPerformer 15 згідно з рис. 5.4, 5.8, 5.9, 5.12 та 5.19, заповнені таблиці 5.2, 5.5 та 5.8 за результатами виконаних розрахунків, заповнені таблиці 5.6, 5.9 та 5.11 результатами виконаного комп'ютерного моделювання, а також висновки щодо особливостей будови, налаштування і моделювання сучасних ВОЛТ.

Контрольні запитання

1. Вкажіть спектральні діапазони частот (довжин хвиль) сучасних ВОСП.
2. Поясніть будову ВОЛТ та класифікуйте основні його складові.
3. Поясніть будову та функціональні характеристики передавального оптичного модуля.
4. Поясніть будову та функціональні характеристики приймального оптичного модуля.
5. Вкажіть основні типи спотворень та завад оптичних сигналів характерних для ВОЛТ.
6. Поясніть необхідність та методику визначення Q-фактора для ВОСП.
7. Поясніть необхідність та методику визначення коефіцієнта помилок для ВОСП.
8. Поясніть взаємозв'язок коефіцієнта помилок та Q-фактора.

9. Поясніть необхідність та методику використання око-діаграми при оцінюванні спотворень сигналів у ВОЛТ.
10. Поясніть призначення основних вузлів оптичного приймача ВОСП.
11. Вкажіть функціональні характеристики та умови використання оптичних приймачів ВОСП.
12. Вкажіть фактори, що обмежують чутливість оптичних приймачів та поясніть причини їх виникнення.
13. Поясніть причини виникнення та методику розрахунку теплового шуму у ВОЛТ.
14. Поясніть причини виникнення та методику розрахунку дробового шуму у ВОЛТ.
15. Поясніть методику розрахунку чутливості оптичного приймача за умови впливу теплового шуму.
16. Поясніть причини обмеження максимального рівня потужності вхідних сигналів оптичного приймача.
17. Класифікуйте типи дисперсії та поясніть їх вплив на спотворення оптичних сигналів у ВОЛТ.
18. Поясніть формулу для визначення середньоквадратичної тривалості оптичних імпульсів у ВОЛЗ (RMS).
19. Поясніть методику визначення тривалості імпульсів на рівні половини потужності (FWHM).
20. Поясніть методику розрахунку розширення оптичних імпульсів у ВОЛЗ через вплив лінійних спотворень.
21. Поясніть взаємозв'язок тривалості імпульсів RMS та FWHM.
22. Вкажіть фактори, що спричиняють спотворення оптичних імпульсів у ВОЛТ.
23. Поясніть методику визначення ширини спектра випромінювання носійної частоти за спектральною характеристикою джерела оптичних сигналів.
24. Поясніть правила розрахунку ширини спектра джерела випромінювання за умови, що ширина спектра лазерного діода значно перевищує ширину спектра сигналу.
25. Поясніть причини виникнення паразитної частотної модуляції імпульсів при безпосередній модуляції джерела оптичного сигналу.
26. Поясніть необхідність оцінювання бюджету потужності для ВОСП.
27. Поясніть алгоритм розрахунку загальних втрат потужності оптичних сигналів у ВОЛТ.
28. Вкажіть, чим характеризується максимально допустиме затухання потужності оптичних сигналів у ВОЛТ.
29. Поясніть причини виникнення та методику визначення додаткових втрат потужності оптичних сигналів у ВОЛТ.
30. Поясніть правила розрахунку загальних втрат потужності оптичних сигналів в роз'ємних та нероз'ємних з'єднаннях у ВОЛЗ.

Лабораторна робота № 6

Тема: Дослідження основних параметрів ВОЛЗ та джерел оптичних сигналів у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15.

Мета роботи: Виконати дослідження функціональних характеристик ВОЛЗ джерел оптичних сигналів ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15.

Обладнання: 1. Персональний комп'ютер з ОС Windows 7 (64);
2. Програмне забезпечення OptiSystem 15;
3. Методичні вказівки по роботі з OptiSystem 15;
4. Проекти для дослідження ВОЛТ в програмі OptiSystem 15.

Теоретичні відомості

Система автоматизованого проектування (САПР) OptiSystem – пакет моделювання оптичних систем зв'язку, який дозволяє вирішувати задачі розроблення, тестування та віртуальної оптимізації різних видів оптичних ліній на фізичному рівні широкого спектра оптичних мереж, від систем телебачення до магістральних ліній.

Графічний інтерфейс користувача забезпечує контроль розміщення оптичних компонентів та таблиці зв'язків, моделі компонентів та відображення графіків. Загальний вигляд графічного інтерфейсу користувача програми OptiSystem 15 показано на рисунку 6.1.

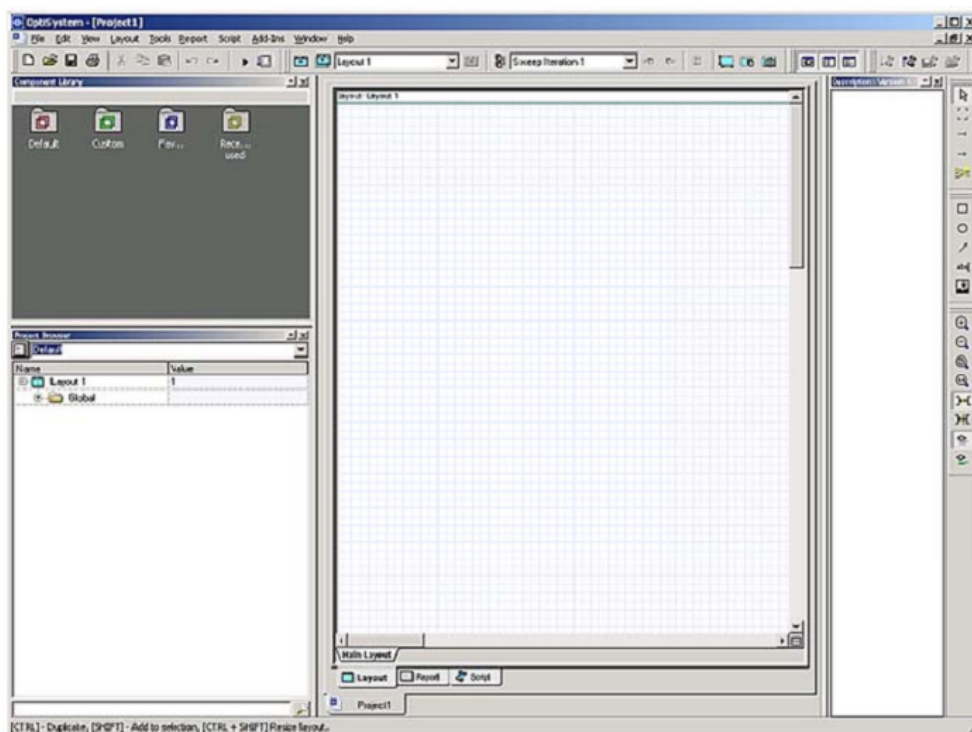


Рисунок 6.1 – Загальний вигляд графічного інтерфейсу користувача програми OptiSystem 15

Графічний інтерфейс користувача складається з декількох функціональних підрозділів: топологія проекту; навігатор проекту; бібліотека компонентів; вікно опису; рядок поточного стану.

Вікно топології проекту (рис. 6.2) є основним робочим столом для розміщення компонентів топології, редагування їх параметрів та формування зв'язків між ними.

Бібліотека компонентів (рис. 6.3, а) забезпечує доступ до використання компонентів при створенні структури системи передачі.

Браузер проекту (рис. 6.3, б) дозволяє оптимально організувати проект та забезпечує навігацію в поточному проекті.

Вікно опису (рис. 6.4, а) відображає детальну інформацію про поточний проект. Рядок поточного стану (*Status Bar*) (рис. 6.4, б) відображає інформацію про виконання розрахунку проекту, корисні підказки щодо правил використання програми OptiSystem та іншу інформацію.

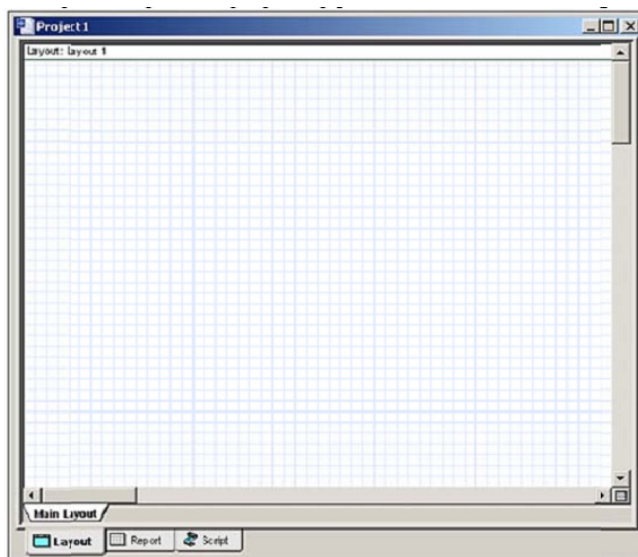
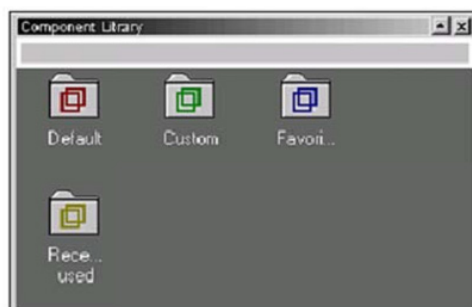


Рисунок 6.2 – Загальний вигляд вікна топології проекту

а)



б)

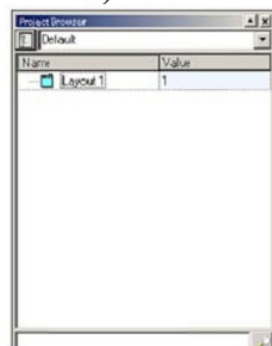


Рисунок 6.3 – Загальний вигляд вікна бібліотеки компонентів (а) та браузера проекту (б)

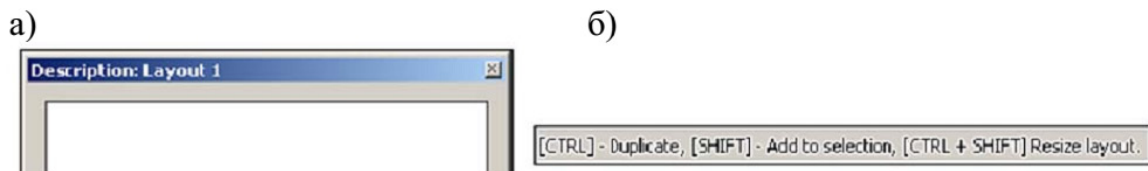


Рисунок 6.4 – Загальний вигляд вікна опису проекту (а) та рядка поточного стану (б)

Розглянемо правила роботи в цьому програмному пакеті на прикладі моделі джерела оптичних сигналів з прямою модуляцією.

Спочатку у вікно топології проекту з вікна бібліотеки елементів необхідно перенести потрібні блоки для досліджуваної системи: генератор псевдовипадкової послідовності бітів, імпульсний генератор, джерело оптичного сигналу (лазерний діод поверхневого випромінювання з вертикальним об'ємним резонатором) та ін. (рис. 6.5). При цьому елементи в схемі необхідно розміщувати послідовно, починаючи з лівого краю, переходячи праворуч. При перенесенні елемента програма пропонує виконати з'єднання портів з найближчими елементами схеми.

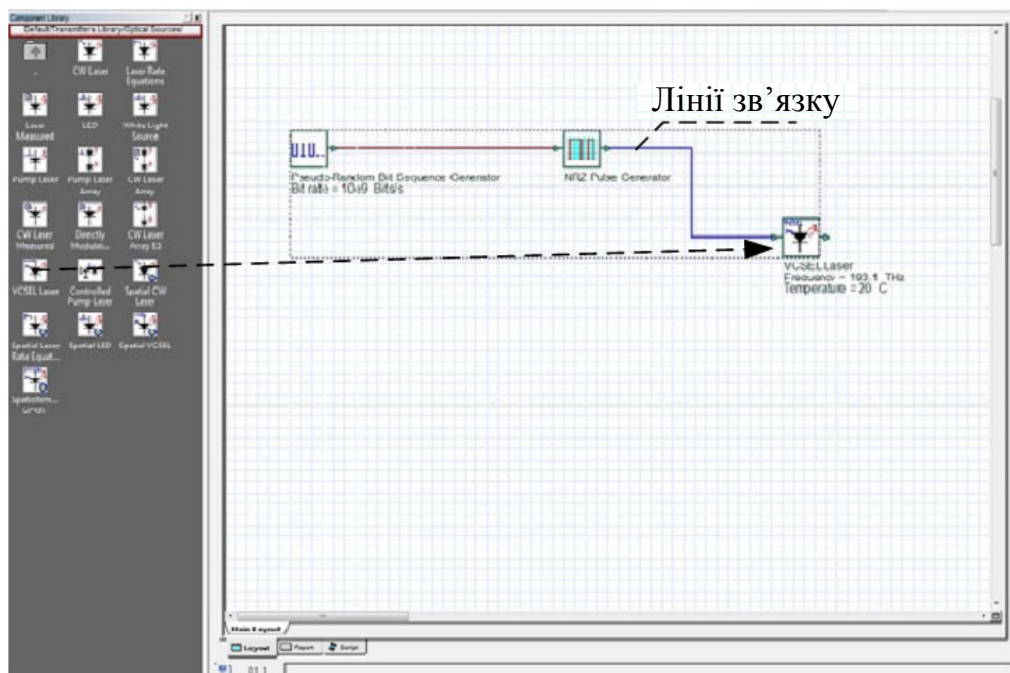


Рисунок 6.5 – Правила створення комп'ютерної моделі системи

В загальному випадку, для реалізації проекту, спочатку необхідно визначитися з основними параметрами:

- швидкість передачі даних в бітах (*Bit rate*);
- довжина послідовності бітів (*Sequence length*);
- кількість вибірок на біт (*Samples per bit*).

Ці параметри використовуються для визначення «часового вікна» (*time window*), частоти дискретизації (*sample rate*) та кількості вибірок (*number of samples*).

Відкривши (подвійним кліком на вільному полі у вікні проекту) вікно параметрів проекту, запишемо $Bit\ rate = 10^{10}$, $Sequence\ length = 256$ та $Samples\ per\ bit = 128$ (рис. 6.6).

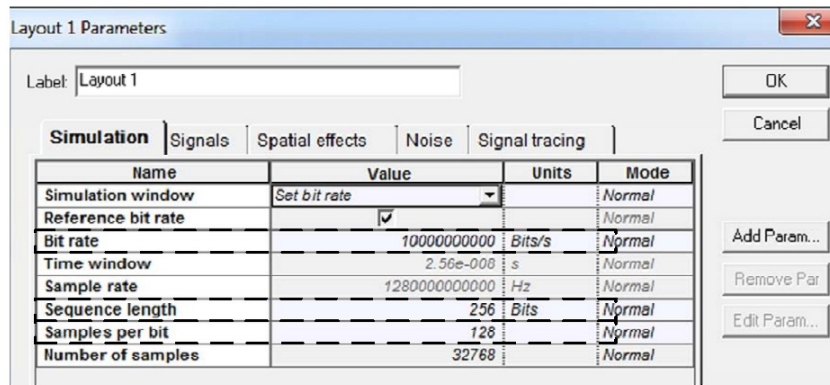


Рисунок 6.6 – Вікно налаштування вихідних даних проекту

Тоді

$$Time\ window = \frac{Sequence\ length}{Bit\ rate} = \frac{256}{10^{10}} = 25,6\ (нс),$$

$$Number\ of\ samples = Sequence\ length \cdot Samples\ per\ bit = 32768\ (samples),$$

$$Sample\ rate = \frac{Number\ of\ samples}{Time\ window} = 1,28\ ТГц.$$

Частота дискретизації визначається в програмі автоматично «script» (рис. 6.7).

При подальшій роботі з проектом в програмі використовується однаковий для всіх компонентів параметр «*Time window*», а параметри «*sample rate*» та «*number of samples*» можна змінювати окремо для кожного компонента схеми.

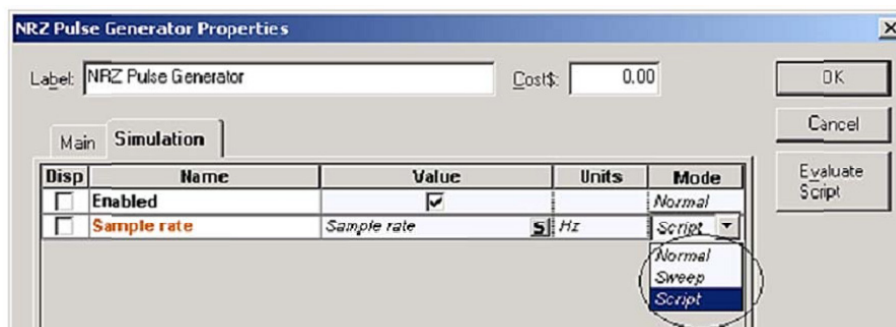


Рисунок 6.7 – Вікно налаштування параметрів генератора імпульсів

При зміні одиниць вимірювання значення параметра у вікні налаштування параметрів виконується автоматичний перерахунок значення параметра (рис. 6.8).

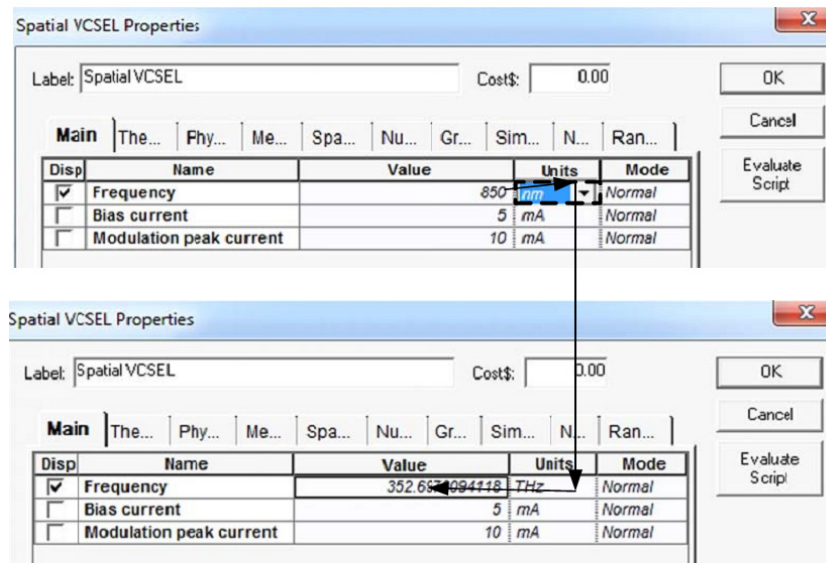


Рисунок 6.8 – Правила зміни одиниць вимірювання параметра у вікні налаштування параметрів джерела оптичного сигналу

Для відображення в окремому пристрої системи загальних параметрів проекту необхідно встановити «галочку» в рядку «Enabled» у вікні налаштування його параметрів (вкладка «Simulation»). Після виконання з'єднання вузлів пристроїв системи та налаштування їх параметрів можна переходити до введення пристроїв відображення (вимірювання) (рис. 6.9): осцилограф (*Oscilloscope visualization*); модуль відображення оптичного сигналу в часовій області (*Optical time domain visualizer*); аналізатор спектра оптичного сигналу (*Optical spectrum analyzer*); аналізатор коефіцієнта помилок BER (*BER analyzer*).

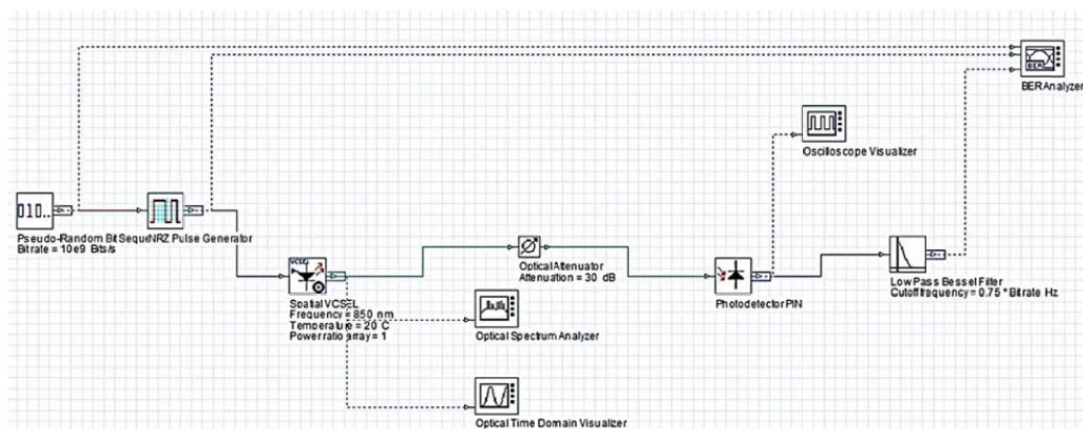


Рисунок 6.9 – Структура комп'ютерної моделі з модулями вимірювання параметрів системи

Для налаштування параметрів, наприклад аналізатора спектра оптичного сигналу, необхідно натиснути правою кlawішею мишки на його зображенні та в висхідному меню використати опцію «*Component Properties*». Після завершення всіх налаштувань можна перейти до моделювання системи. Для цього необхідно натиснути кнопку «*Calculate*», що знаходиться у верхньому меню програми. Після цього з'явиться вікно, що показано на рисунку 6.10, в якому необхідно натиснути кнопку запуску розрахунків.

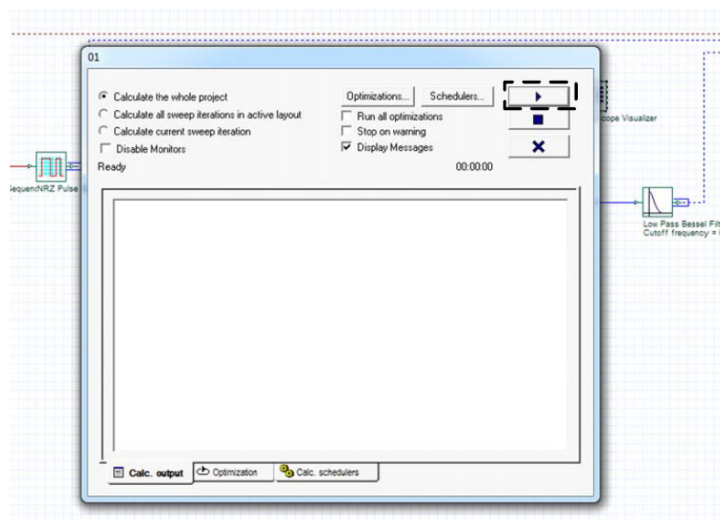


Рисунок 6.10 – Вікно моделювання та оптимізації проекту

Після завершення розрахунків за допомогою подвійного кліку на модулях відображення можна перейти до аналізу отриманих результатів моделювання (рис. 6.11).

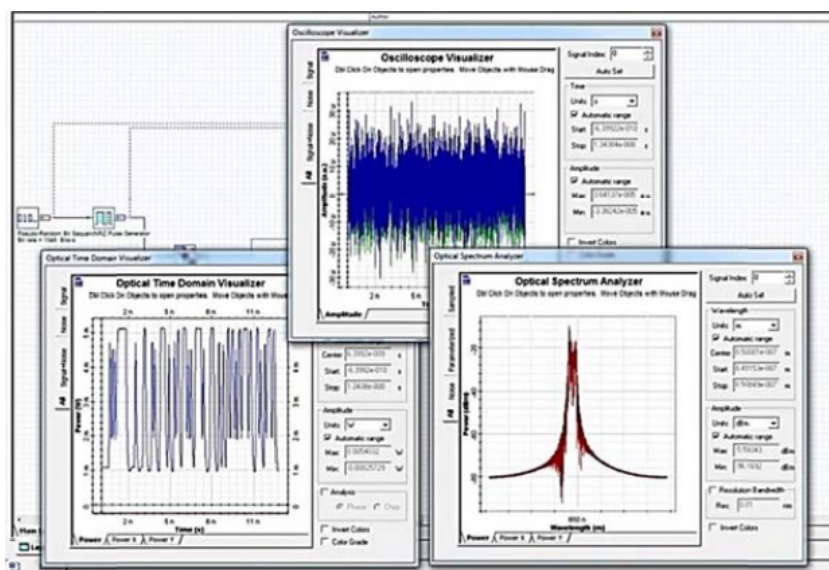


Рисунок 6.11 – Результати моделювання спрощеної системи передавання на основі лазерного джерела оптичних сигналів з прямою модуляцією

Необхідно відмітити деякі додаткові особливості роботи в програмі OptiSystem. В програмі передбачено маркування за кольорами з'єднувальних ліній залежно від параметрів сигналу, що передається (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 – Позначення з'єднувальних ліній

| Сигнал | Колір з'єднувальної лінії |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Двійковий (<i>Binary</i>) | Червоний |
| Багаторівневий (<i>M-Ary</i>) | Темно-червоний |
| Електричний (<i>Electrical</i>) | Блакитний |
| Оптичний (<i>Optical</i>) | Зелений |
| Довільний (<i>Any Type</i>) | Темно-зелений |

Також в програмі передбачена можливість використання джерела шуму, який можна вводити в дискретизований сигнал або використовувати як окреме джерело шуму. За замовчуванням в параметрах моделей пристроїв джерела шумів вимкнені. Тому, за необхідності врахування впливу шумів на роботу моделей систем, необхідно у вікні налаштування всього проекту встановити «галочку» в пункті «*Convert noise bins*», як показано на рисунку 6.12.

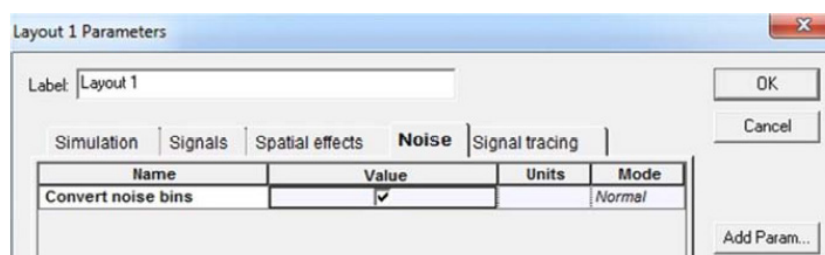


Рисунок 6.12 – Вікно налаштувань параметрів проекту у вкладці «*Noise*»

Світлодіод є напівпровідниковим пристроєм, в якому за рахунок протікання електричного струму через *p-n* перехід виникає інтенсивне спонтанне випромінювання. На рисунку 6.13, а) показано ват-амперну характеристику світлодіодів, яка полягає в залежності потужності випромінювання від струму, що протікає через нього. Нелінійність характеристики зумовлена граничними можливостями щодо спонтанної рекомбінації електронів і дірок та їх обмеженою кількістю, яка залежить від насиченості домішковими компонентами й загального об'єму активного шару. Ват-амперна характеристика залежить від температури кристала, а саме при її підвищенні потужність може значно зменшуватись.

На рисунку 6.13, б) показано спектральну характеристику світлодіодів, яка відображає залежність потужності випромінювання від довжини хвилі випромінювання.

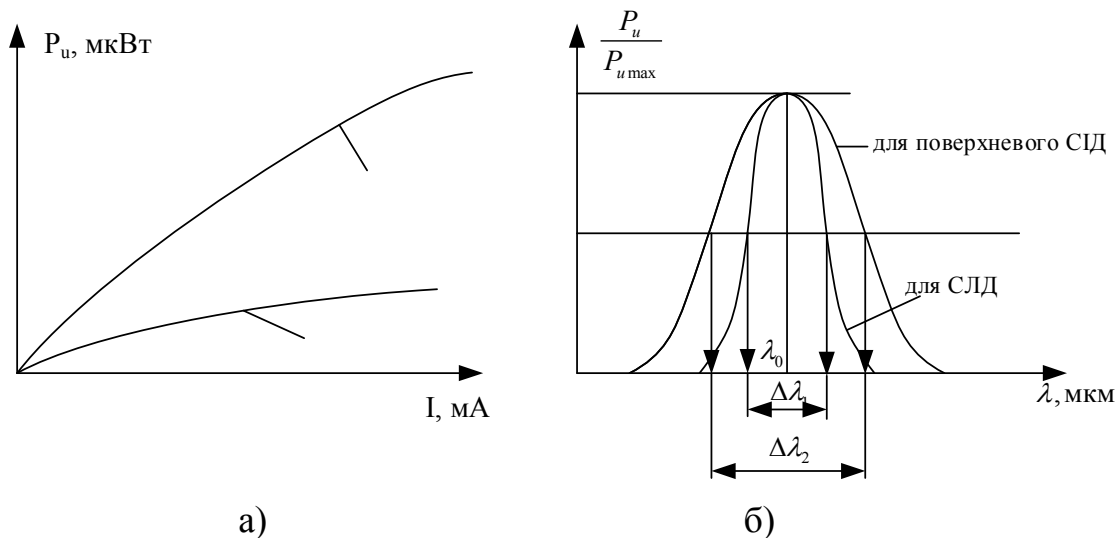


Рисунок 6.13 – Ват-амперні (а) та спектральні характеристики (б) лазерних діодів

Ширина спектра світлодіода становить приблизно 10 – 30 нм, а для поверхневого світлодіода становить приблизно 30 – 60 нм. Більш вузький спектр випромінювання лазерного діода можна пояснити хвилеводним ефектом та підвищеною когерентністю випромінюваних рекомбінацій.

Одномодові лазерні діоди з розподіленим зворотним зв'язком (DFB) є одним з основних джерел оптичних сигналів для ВОСП з довгими лінійними трактами.

Лазерні діоди типу VCSEL функціонують в одномодовому (повздовжня мода) режимі на основі резонатора досить малої довжини (близько 1 мкм), для якого рознесення мод перевищує смугу частот підсилення. На рисунку 6.14 зображені типові характеристики VCSEL з апертурою діаметром 4 мкм та з потужністю випромінювання 5 мВт.

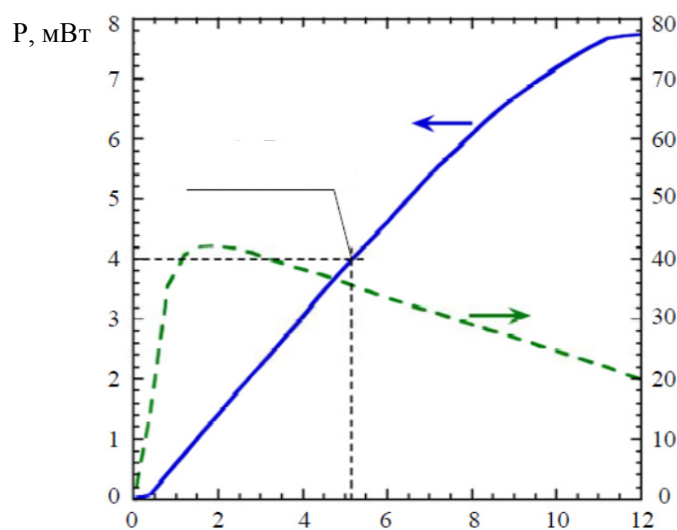


Рисунок 6.14 – Залежності вихідної оптичної потужності та ефективності перетворення потужності від струму накачування VCSEL лазера

Таблиця 6.2 – Порівняльні характеристики типових FP, DFB та VCSEL лазерних діодів

| Характеристика | FP | VCSEL | DFB |
|--|------|-------|------|
| Крутизна ВтАХ, Вт/А | 0,15 | 0,2 | 0,28 |
| Відносна шумова інтенсивність, дБ/Гц | -150 | -140 | -135 |
| Максимальна вихідна потужність, мВт | 5 | 1,5 | 10 |
| Пороговий струм, мА | ~10 | ~6 | >15 |
| Підсилення за потужністю, дБ | ~-25 | ~-20 | ~-10 |
| Динамічний діапазон без інтермодуляційної складової третього порядку, дБ·Гц ^{2/3} | ~110 | ~116 | ~120 |
| Максимальна ширина смуги частот модуляції, ГГц | >1 | >2,5 | >10 |
| Коефіцієнт шуму, дБ | ~29 | ~23 | ~32 |

На рисунку 6.15 показано принцип формування цифрового сигналу з аналогового за допомогою NRZ-кодування.

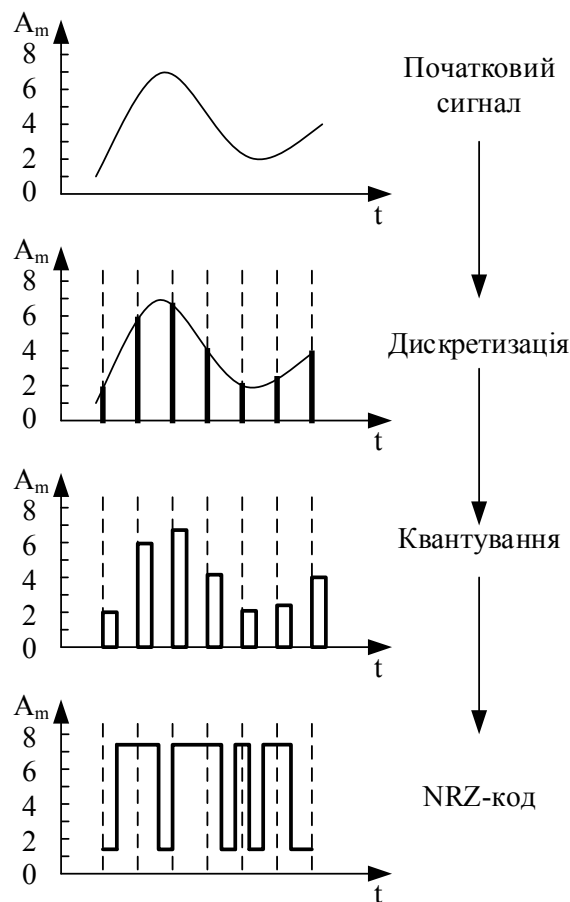
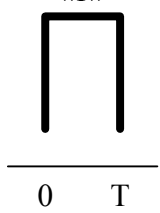
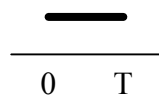
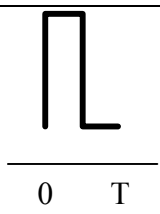
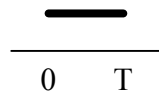
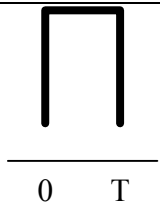
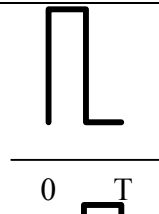
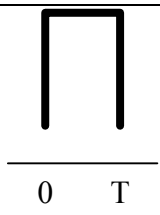
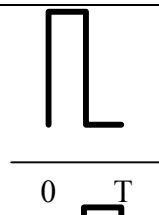


Рисунок 6.15 – Правила формування цифрового сигналу з аналогового на основі NRZ кодування

В таблиці 6.3 наведено варіанти кодів, що використовуються на практиці.

Таблиці 6.3 – Характеристики кодів інформаційних сигналів

| Код | Визначення | Імпульси (1), (0) | |
|------------------------------------|---|--|---|
| Без повернення до нуля. NRZ-код | «1»: рівень 1 на всьому інтервалі «0»: рівень 0 на всьому інтервалі |  |  |
| З поверненням до нуля RZ-код | «1»: рівень 1 на першій половині інтервалу «0»: рівень 0 на всьому інтервалі |  |  |
| Манчестерський 1 MAN-1-код | «1»: позмінно рівні 1 або 0 на всьому інтервалі «0»: перехід на середині інтервалу |  |  |
| Манчестерський 2 MAN-2-код | «1»: аналогічно MAN-1 «0»: позмінно рівні 1 на першій і другій половині інтервалу |  |  |

При виборі типу кодування інформаційних сигналів необхідно враховувати такі критерії:

- код передавання має відображати будь-яку двійкову послідовність;
- спектр задіяного коду має бути меншим за максимально можливий спектр в оптичному каналі ВОЛЗ;
- процес кодування має забезпечувати можливість виділення сигналу синхронізації з модульованого оптичного сигналу;

- тип кодування має характеризуватись простою апаратною реалізацією;
- тип коду має характеризуватись мінімальною надлишковістю.

Одним з найбільш простих та доступних методів контролю якості функціонування цифрових ВОСП є використання «око-діаграми», яка будується на основі аналізу сигналу на виході приймального пристрою ВОЛЗ. На рисунку 6.16 показано загальний вигляд око-діаграми дворівневого сигналу.

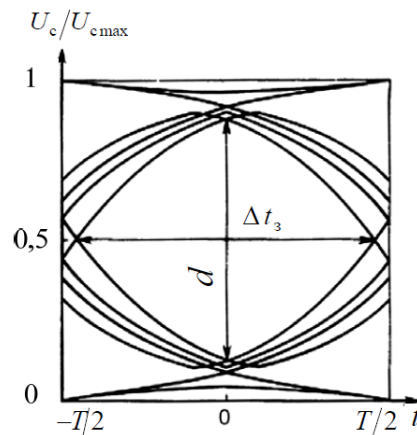


Рисунок 6.16 – Приклад око-діаграми дворівневого сигналу

Відносний розкрив око-діаграми d вказує на максимальне зменшення амплітуди сигналу через вплив міжсимвольної інтерференції: $0 \leq d \leq 1$. Ширина розкриву око-діаграми Δt_s характеризує вимоги до стабільності синхронізації системи передавання. Чим менше Δt_s , тим вищі вимоги до синхронізації ВОСП.

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Виконати розрахунок максимальних довжин регенераційної ділянки мережі СЦІ на базі мультиплексорів рівня STM-4, з урахуванням енергетичного запасу за потужністю та дисперсією оптичного сигналу. Енергетичний потенціал обладнання рівня STM-4 $Q = 28$ дБ, коефіцієнт згасання оптичного кабелю $\alpha = 0,18$ дБ/км, будівельна довжина кабелю $l_b = 5,5$ км, хроматична дисперсія $\sigma = 12$ пс/(нм·км), ширина спектра джерела випромінювання $\Delta\lambda = 0,25$ нм. Взяти експлуатаційний запас $p_z = 4$ дБ, додаткове згасання $A_d = 0,5$ дБ, згасання на зварному стику $A_c = 0,35$ дБ. Пояснити вибір значення довжини регенераційної ділянки.
3. Використовуючи технічний опис та інструкцію з використання OptiSystem 15, ознайомитись із призначенням команд програми.
4. Ознайомитись із процесом конфігурування блоків ВОСП згідно з порядком виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 6.17 наведено лабораторного стенда дослідження ВОСП на базі ПК.

Recommended OptiSystem Setup

Windows 10™ 64-bit

Intel® Core™ i7 Processor

Tesla/Quadro/GeForce CUDA-enabled NVIDIA GPU

16Gb RAM



Рисунок 6.17 – Структурна схема лабораторного стенда дослідження ВОСП на базі ПК

Порядок виконання роботи

Виконати дослідження особливостей поширення оптичних сигналів у ВОЛЗ з урахуванням їх нелінійних характеристик за допомогою САПР OptiSystem 15. Вихідні дані для виконання досліджень вказано в таблицях 6.4, 6.5.

Таблиця 6.4 – Вихідні дані для дослідження впливу дисперсії на поширення оптичного імпульсного сигналу у ВОЛЗ

| M | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|--------------------------|---------|--------|----------|----------|-----------|-------------|--------|----------|-----------|-------------|
| λ , нм | 1531 | 1535 | 1539 | 1541 | 1545 | 1549 | 1551 | 1555 | 1557 | 1543 |
| <i>Bit rate</i> , Гбіт/с | 35 | 40 | 25 | 30 | 25 | 35 | 40 | 45 | 35 | 40 |
| P_0 , мВт | 5 | 8 | 15 | 9 | 12 | 10 | 18 | 6 | 21 | 7 |
| Опто-волокно | SMF-28e | SM 332 | SM 8/125 | SM 9/125 | Pure Band | Actale 6900 | SM 332 | SM 9/125 | Pure Band | Actale 6900 |

Примітка. В таблиці 4 використано такі позначення: M – номер варіанта; λ – довжина хвилі оптичного сигналу у ВОЛЗ; *Bit rate* – швидкість передавання інформаційних сигналів; P_0 – потужність оптичного сигналу.

Параметри оптичних волокон наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.5 – Вихідні дані для дослідження впливу фазової само модуляції на поширення оптичного імпульсного сигналу у ВОЛЗ

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| $Bit\ rate,$ Гбіт/с | 1 | 4 | 1,25 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1,25 | 4 | 2 |
| $\lambda_1,$ нм | 1480 | 1490 | 1500 | 1510 | 1520 | 1530 | 1540 | 1550 | 1510 | 1500 |
| $P_1,$ мВт | 25 | 35 | 40 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 30 | 35 |
| $\lambda_2,$ нм | 1481 | 1491 | 1501 | 1511 | 1521 | 1531 | 1541 | 1551 | 1511 | 1501 |
| $P_2,$ мВт | 10 | 15 | 10 | 20 | 15 | 10 | 15 | 10 | 15 | 10 |
| $L,$ км | 60 | 15 | 52 | 20 | 30 | 60 | 20 | 52 | 15 | 30 |

Примітка. В таблиці 6.5 використано такі позначення: N – номер варіанта; $\lambda_{1,2}$ – довжини хвиль 1-го та 2-го оптичних сигналів у ВОЛЗ; $P_{1,2}$ – потужності 1-го та 2-го оптичних сигналів у ВОЛЗ; L – довжина ВОЛЗ.

Практичне значення дослідження характеру поширення оптичних імпульсів у ВОК пов'язане з широким використанням ВОЛЗ в сучасних мережах зв'язку.

Особливості поширення імпульсів тривалістю $T \geq 1$ пс в кварцевих ОВ характеризуються, насамперед, двома ефектами: дисперсією групової швидкості (ДГШ) та фазовою само модуляцією (ФСМ).

За відсутності частотної модуляції носійної частоти ширина спектра імпульсних оптичних сигналів $\Delta\nu$ буде визначатись не власною шириною спектра джерела випромінювання, а фур'є-спектром імпульсного сигналу за співвідношенням

$$\Delta\nu \approx \frac{1}{T_0},$$

де T_0 – тривалість імпульсу.

Таблиця 6.6 – Характеристики оптичних волокон

| Фірма і країна виробник ОВ | Corning (США) | OFS Allwave (США) | Hitachi Cable (Японія) | Fujikura (Японія) | Sumitomo Electric (Японія) | Actale (Франція) |
|--|----------------|-------------------|------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|
| Фірмове позначення | SMF-28e | SM332 | SM 8/125 | SM 9/125 | Pure Band | Actale 6900 |
| Тип волокна | SSF | SSF | SSF | SSF | SSF | SSF |
| Мак. втрати дБ/км | 1,31 мкм | 0,34 | 0,35 | 0,4 | 0,34 | 0,33 |
| | 1,383 мкм | 0,3 | 1 | 0,65 | 1,5 | 0,29 |
| | 1,55 мкм | 0,2 | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,19 |
| Довжина хвилі нульової дисперсії λ_0 , мкм | 1,301 – 1,321 | 1,300 – 1,322 | 1,300 – 1,324 | 1,301 – 1,322 | 1,300 – 1,312 | 1,300 – 1,32 |
| Нахил нульової дисперсії S_0 пс/нм ² км | 0,092 | 0,092 | 0,092 | 0,092 | 0,086 | 0,086 |

Дисперсія виникає через різні значення швидкості поширення спектральних компонентів оптичного імпульсу через ВОЛЗ. Це можна пояснити залежністю показника заломлення осердя ОВ від частоти оптичного сигналу $n(\omega)$, яка характеризує залежність групової швидкості сигналу від частоти (матеріальна дисперсія) та різною швидкістю поширення компонентів спектра оптичного сигналу (хвильоводна дисперсія). Суму матеріальної та хвильоводної дисперсій називають хроматичною дисперсією, через яку імпульс розширюється. Також через різну швидкість спектральних компонентів оптичного імпульсу (при нормальній дисперсії – $\lambda < 1300$ нм для стандартного ООВ) на передньому фронті групуються низькочастотні спектральні компоненти, а на задньому фронті групуються високочастотні компоненти. За аномальної дисперсії ($\lambda > 1300$ для стандартного ООВ) характерна зворотна картина. Лінійну зміну частоти вздовж імпульсу називають лінійною частотною модуляцією сигналу (чірпування імпульсу). Вплив чірпування при постійній тривалості імпульсу спричиняє розширення його спектра.

Вплив дисперсії та частотної модуляції оптичного сигналу спричиняє збільшення тривалості імпульсу. В результаті, спектр сигналу не змінюється, що характеризує лінійність ефекту дисперсії. Тому при лінійних режимах спектр сигналу не змінюється.

Вираз, що характеризує ДГШ при поширенні оптичного імпульсу без урахування втрат та нелінійностей можна записати:

$$i \frac{\partial E}{\partial z} = \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2},$$

де z – напрямок поширення; E – обвідна імпульсу.

Сталу поширення оптичного сигналу в оптичному волокні можна записати в загальному вигляді через ряд Тейлора

$$\beta(\omega) = \beta(\omega_0) + \frac{d\beta}{d\omega}(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \frac{d^2\beta}{d\omega^2}(\omega - \omega_0)^2 \dots$$

Звідси виділяємо основну складову $\beta_2 = \frac{d^2\beta(\omega)}{d\omega^2}$, пс²/км, яка характеризує дисперсію.

Дисперсію групової швидкості D можна визначити за виразом

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2, \text{ пс}/(\text{км нм}). \quad (6.1)$$

На рисунку 6.18 показано графік частотної залежності дисперсії групових швидкостей оптичних сигналів у ВОЛЗ.

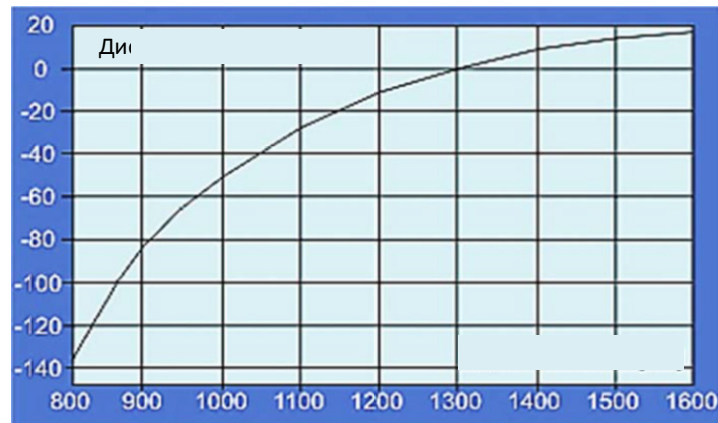


Рисунок 6.18 – Залежність дисперсії групових швидкостей від довжини хвилі

З попереднього виразу з урахуванням одиниць вимірювання запишемо формулу для визначення β_2 :

$$\beta_2(\lambda) = -D \frac{\lambda^2 [\text{мкм}]}{0,6\pi} \text{ (пс}^2/\text{км)}.$$

З графіка (рис. 6.18) видно, що на довжині хвилі $\lambda = 1,55$ мкм значення $\beta_2 = -20$ пс²/км.

Параметр хроматичної дисперсії D стандартного ступінчастого ОВ в пс/(км нм) можна визначити за формулою

$$D = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right), \tag{6.2}$$

де λ_0 – довжина хвилі нульової дисперсії, нм; λ – центральна довжина хвилі, нм; S_0 – параметр нахилу спектральної характеристики дисперсії ООВ в точці нульової дисперсії, пс/(км нм²)

Використовуючи вихідні дані з таблиць 6.4 та 6.6, визначити хроматичну дисперсію у ВОЛЗ за формулою 6.2.

Форму гаусового імпульсу можна описати виразом

$$E(z = 0, t) = \sqrt{P_0} \exp\left(-\frac{t^2}{2T_0^2}\right),$$

де T_0 – тривалість оптичного імпульсу в ОВ; P_0 – потужність енергії в оптичному імпульсі.

За заданої швидкості передачі даних (*Bit rate*) можна визначити відповідну тривалість одного біта T_{bd} (*bit duration*).

$$T_{bd} = \frac{1}{\text{Bit rate}}. \quad (6.3)$$

При цьому, враховуючи встановлене в *Optisystem* базове значення параметра «ширини» («*width*») оптичного генератора гаусового імпульсу 0,5, визначимо час перевищення половини від максимального значення потужності імпульсу за формулою

$$T_{FWHM} = 0,5 \cdot T_{bd}. \quad (6.4)$$

Значення T_0 для імпульса гаусового профіля необхідно визначати за рівнем $1/e$ від максимального («пікового») значення потужності сигналу. та пов'язане з T_{FWHM} співвідношенням

$$T_{FWHM} = 1,665 \cdot T_0. \quad (6.5)$$

Збільшення тривалості оптичного імпульсу при поширенні в ООВ можна оцінити за виразом

$$T(z) = T_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{L_D}\right)^2},$$

де L_D – «дисперсійна» довжина ООВ, на якій тривалість первинного імпульсу збільшується в $\sqrt{2}$ разів через вплив дисперсії.

Значення L_D можна визначити за формулою

$$L_D = \frac{T_0^2 [nc]}{|\beta_2|}, \text{ км.} \quad (6.6)$$

Використовуючи формулу (6.6) та з урахуванням формул (6.3) – (6.5), визначити значення «дисперсійної» довжини ООВ, на якій тривалість первинного імпульсу збільшується в $\sqrt{2}$ разів через вплив дисперсії.

З урахуванням дисперсії пікову потужність можна оцінити за виразом

$$P(z) = \frac{P_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{L_D}\right)^2}}. \quad (6.7)$$

Використовуючи формулу (6.7), побудувати графік залежності пікової потужності оптичних сигналів від довжини ВОК (при $z \in [0, 2L_D]$). На рисунку 6.19 показано вікна налаштування параметрів ОВ в САПР.

a)

| Main Disp... PMD Nonl... Num... Gr... Simu... Noise Rand... | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| Disp | Name | Value | Units | Mode |
| <input type="checkbox"/> | User defined reference w | <input checked="" type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Reference wavelength | 1550 | nm | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Length | 2.812 | km | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Attenuation effect | <input checked="" type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Attenuation data type | Constant | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Attenuation | 0.2 | dB/km | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Attenuation vs. wavelengt | Attenuation.dat | | Normal |

б)

| Main Disp... PMD Nonl... Num... Gr... Simu... Noise Rand... | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------------------|-----------|--------|
| Disp | Name | Value | Units | Mode |
| <input type="checkbox"/> | Group velocity dispersion | <input checked="" type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Third-order dispersion | <input checked="" type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Dispersion data type | Constant | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Frequency domain param | <input type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Dispersion | 16.75 | ps/nm/km | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Dispersion slope | 0.075 | ps/nm^2/k | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Beta 2 | -20 | ps^2/km | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Beta 3 | 0 | ps^3/km | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Dispersion file format | Dispersion vs. wavelength | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Dispersion file name | Dispersion.dat | | Normal |

Рисунок 6.19 – Вікна налаштування довжини та згасання ОВ (а); значення хроматичної дисперсії (б) оптичного фідера в САПР *Optisystem*

У випадку, коли оптичний імпульс лінійно частотно модульований, чірпований, тоді

$$E(z=0, t) = \sqrt{P_0} \exp\left(-\frac{1+jC}{2} \frac{t^2}{2T_0^2}\right);$$

$$T(z) = T_0 \sqrt{\left(1 + \frac{C\beta_2 z}{T_0^2}\right) + \left(\frac{\beta_2 z}{T_0^2}\right)^2},$$

де C – індекс ЛЧМ.

При $C\beta_2 < 0$ та при збільшенні довжини фідера імпульс монотонно розширюється, а при $z < z_{\min}$ спостерігається звуження імпульсу. Значення z_{\min} та $T(z_{\min})$ можна визначити за формулами

$$z_{\min} = \frac{|C|}{1 + C^2} L_D; \quad (6.8)$$

$$T(z_{\min}) = \frac{T_0}{\sqrt{1 + C^2}}.$$

Прийнявши $C = 2$ рад/с, за формулою (6.8) визначити z_{\min} та $T(z_{\min})$. Налаштування ЛЧМ (*chirp factor*) можна виконати у вікні налаштувань оптичного генератора гаусового імпульсу (рис. 6.20).

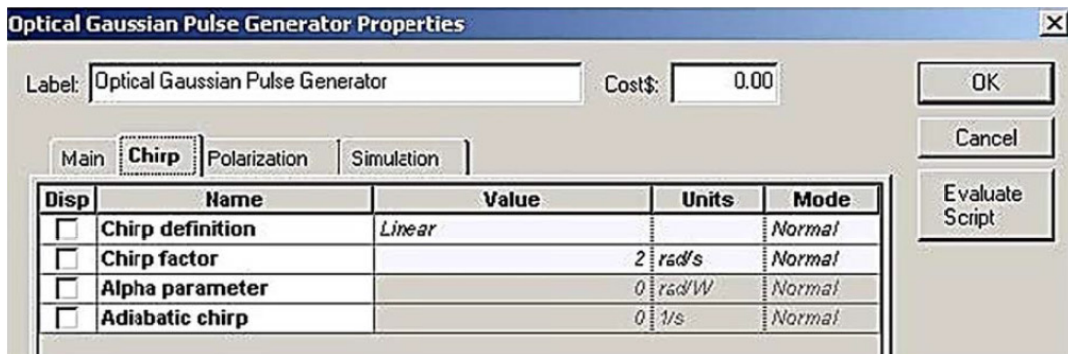


Рисунок 6.20 – Вікно налаштування ЛЧМ оптичного генератора гаусового імпульсу

На рисунку 6.21 відображено приклад топології системи в САПР *Optisystem* для дослідження впливу дисперсії на проходження по ВОЛЗ імпульсного оптичного сигналу. Для відтворення цієї схеми необхідно використати такі бібліотеки:

- *User Definer Bit Sequence Generator* – папка *Transmitters Library / Bit Sequence Generator*;
- *Optical Gaussian Pulse Generator* – папка *Transmitters Library / Pulse Generators / Optical*;
- Вимірювальні пристрої – папка *Visualizer Library*;
- *Optical fiber* – папка *Optical Fibers Library*;
- *Ideal Mux* – папка *WDM Multiplexers Library / Multiplexers*.

Використовуючи схему (рис. 6.21), виконати моделювання впливу дисперсії на передавання оптичного імпульсного сигналу по ВОЛЗ. Для цього спочатку необхідно задати загальні параметри проекту з урахуванням даних таблиці 6.2 та загальних параметрів проекту *Sequence length = 8 bits*; *Samples per bit = 256*. Також необхідно виконати налаштування оптичного генератора гаусового імпульсу з урахуванням даних таблиці 6.2 та

$Chirp\ factor = 0$ рад/с. В блоці «User Defined Bit Sequence Generator» необхідно задати послідовність символів «00010000».

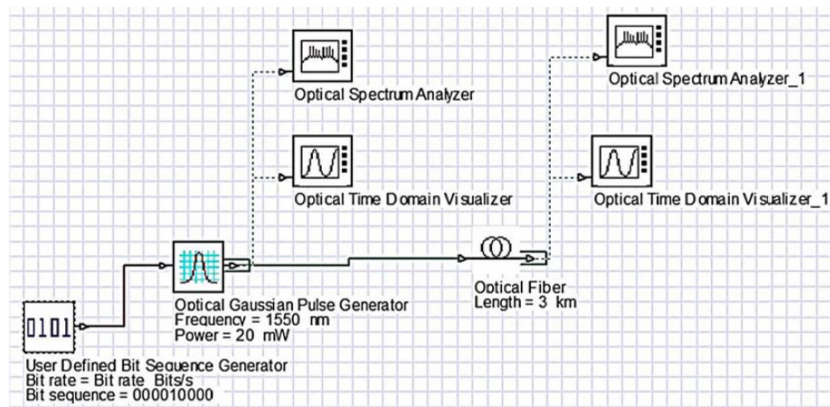


Рисунок 6.21 – Топологія системи для дослідження впливу дисперсії на проходження імпульсного оптичного сигналу по ВОЛЗ

Виконати налаштування ООВ з урахуванням розрахованих значень дисперсії та довжини оптичного кабелю L_D і даних з таблиць 6.4 та 6.6 (див. рис. 6.18).

Виконавши моделювання, необхідно зберегти в звіт часові осцилограми та спектри імпульсів. При цьому за допомогою опції «Zoom» (активація панелі інструментів пристрою вимірювання виконується кліком правої кнопки мишки) можна покращити візуальне відображення спектрів імпульсів (максимальне заповнення вікна графіків).

Для зберігання результатів вимірювання можна використати команду «Print to Bmp File», яка знаходиться в прихованому меню, що позначено синім ярличком у лівому верхньому куті вікна графіків.

Змінюючи довжину ВОЛЗ на $2L_D$, $4L_D$ повторити моделювання та дослідити лише спектр та часову осцилограму вихідного сигналу. За допомогою команди «Print to Bmp File» зберегти результати у звіт роботи.

Змінити в налаштуваннях генератора імпульсу параметр $Chirp\ factor$ на значення 2 рад/с. Змінивши довжину ВОЛЗ на значення z_{min} , повторити моделювання. Дослідити лише спектр та часову осцилограму вихідного сигналу та за допомогою команди «Print to Bmp File» зберегти результати у звіт роботи.

Одним з нелінійних ефектів, що впливає на параметри оптичного імпульсу є фазова самомодуляція (ФСМ), яка виникає через нелінійне заломлення, що характеризується залежністю показника заломлення середовища передавання від напруженості електромагнітного поля.

В кварці спостерігається нелінійність, яку можна оцінити за формулою

$$n = n_0 + n_2 I, \quad (6.9)$$

де n – сумарний показник заломлення; n_0 – лінійний показник заломлення; n_2 – нелінійний коефіцієнт заломлення; I – інтенсивність світла.

Для кварцу $n_2 \approx 3 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2/\text{Вт}$. В оптичному волокні оптичні сигнали характеризуються високою інтенсивністю та значною довжиною взаємодії через умови поширення (висока інтенсивність та значні відстані), які призводять до значного впливу нелінійних ефектів.

Враховуючи, що миттєва частота є похідною від фази за часом, тому модуляція фази при ФСМ призводить до модуляції частоти.

Імпульс з частотною модуляцією носійної характеризується більшою шириною спектра порівняно з імпульсом без частотної модуляції. Розширення спектра гаусового імпульсу можна оцінити за виразом

$$\delta\omega_{\max} = 0,86\Delta\omega_0\Phi_{\max},$$

де $\Delta\omega_0$ – ширина спектра вихідного імпульсу; Φ_{\max} – максимальне нелінійне накопичення фази.

На рисунку 6.22 наведено приклад топології системи для дослідження впливу фазової самомодуляції на характеристики імпульсного оптичного сигналу у ВОЛЗ.

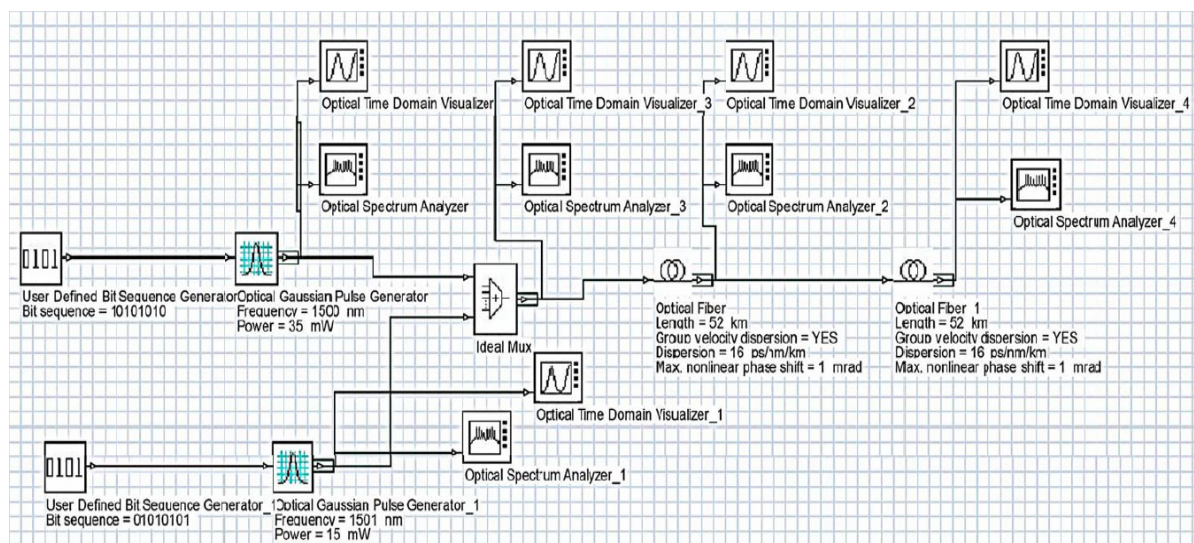


Рисунок 6.22 – Топологія САПР *Optisystem* для дослідження впливу фазової самомодуляції на проходження імпульсного оптичного сигналу по ВОЛЗ

Для покращення наочності відображення результатів дослідження фазової самомодуляції в проекті, що на рис. 6.22 необхідно виконати налаштування загальних параметрів проекту згідно з прикладом (рис. 6.23).

| | | |
|--------------------|-------------------------------------|--------|
| Simulation window | Set bit rate | Normal |
| Reference bit rate | <input checked="" type="checkbox"/> | Normal |
| Bit rate | 1250000000 Bits/s | Normal |
| Time window | 3.2e-009 s | Normal |
| Sample rate | 160000000000 Hz | Normal |
| Sequence length | 4 Bits | Normal |
| Samples per bit | 128 | Normal |
| Number of samples | 512 | Normal |

Рисунок 6.23 – Параметри проекту для дослідження ФСМ у ВОЛЗ

Повторити проект з топологією, що на рисунку 6.23. Налаштувати параметри *Sequence length* та *Samples per bit* згідно з вимогами, що вказані на рисунку 6.24, а значення параметра *Bit rate* вибрати з таблиці 6.3. В блоках «*User Defined Bit Sequence Generator*» та «*User Defined Bit Sequence Generator_1*» встановити послідовність символів «10101010» та «01010101», відповідно. Виконати налаштування оптичних генераторів гаусових імпульсів відповідно до даних таблиці 6.5.

Виконати налаштування параметрів ОВ відповідно до даних таблиць 6.5, 6.6 та рисунка 6.18, а також для врахування впливу ФСМ встановити «галочку» в рядку «*Self-phase modulation*».

Виконати моделювання топології, що на рисунку 6.23, і за допомогою пристроїв «*Optical time domain visualizer_3, 2, 4*» зберегти часові осцилограми та спектри імпульсів – за допомогою пристроїв «*Optical spectrum analyzer_3, 2, 4*». За допомогою команди «*Print to Bmp File*» зберегти результати у звіт роботи.

Вихідні дані для виконання дослідження в САПР *Optisystem* характеристик лазерного діода з розподіленим зворотним зв'язком (РЗЗ) та лазерного діода з вертикальним резонатором, який функціонує в режимі прямої модуляції, вказано в таблицях 6.7, 6.8.

Таблиця 6.7 – Вихідні дані для виконання досліджень функціональних характеристик лазерного діода з РЗЗ

| M | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| λ , нм | 1290 | 1555 | 1310 | 1490 | 1330 | 1570 | 1340 | 1590 | 1260 | 1680 |
| <i>Bit rate</i> , Гбіт/с | 1,1 | 1,3 | 1,2 | 1,4 | 1,25 | 1,5 | 1,15 | 1,35 | 1 | 1,45 |
| I_{B1} , мА | 20 | 15 | 20 | 25 | 20 | 15 | 20 | 25 | 15 | 20 |
| I_{B2} , мА | 40 | | | | | | | | | |
| I_{peak} , мА | 40 | | | | | | | | | |

Примітка. M – передостання цифра номера залікової книжки; λ – довжина хвилі оптичного сигналу в ОВ; *Bit rate* – швидкість передавання інформаційних потоків; I_{B1} та I_{B2} – мінімальний та максимальний задані струми зміщення; I_{peak} – піковий модульований струм.

Таблиця 6.8 – Вихідні дані для дослідження характеристик лазерного діода з вертикальним резонатором

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|------------------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|
| λ , нм | 683 | 863 | 1550 | 683 | 1550 | 863 | 683 | 1550 | 863 | 1550 |
| Bit rate, Гбіт/с | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2 | 2,1 |

Примітка. N – остання цифра номера залікової книжки.

Топологію проекту для проведення досліджень характеристик лазерних діодів показано на рисунку 6.24. При проведенні досліджень характеристик VCSEL, що функціонують на довжинах хвиль 683 та 863 нм необхідно врахувати їх налаштування, що задані в таблиці 6.24.

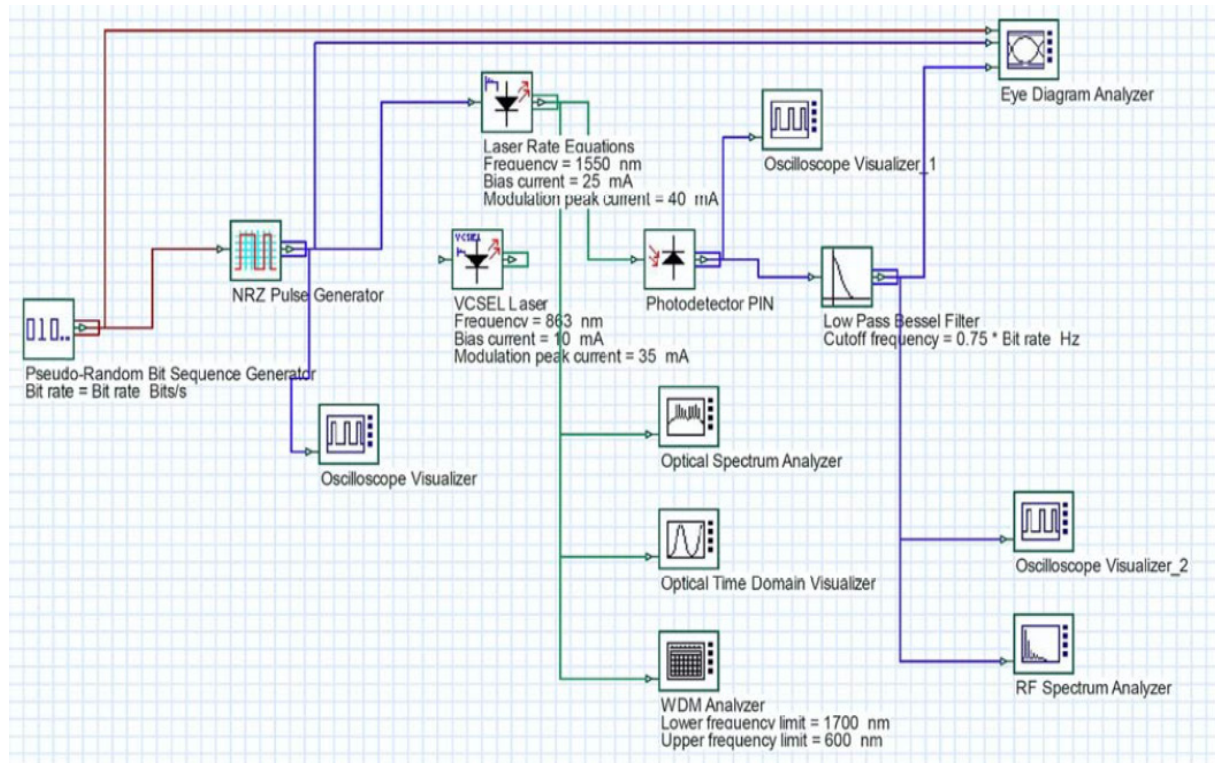


Рисунок 6.24 – Топологія системи для дослідження прямої модуляції напівпровідникового лазерного діода у ВОСП

Оскільки в лабораторній роботі виконується дослідження лазерних діодів, що працюють в режимі прямої модуляції цифровим сигналом, то для його формування необхідно використовувати «NRZ-генератор»

При проведенні дослідження характеристик VCSEL, що функціонує на довжині хвилі 1550 нм, необхідно використовувати первинні налаштування параметрів відповідно до таблиці 6.10.

Таблиця 6.9 – Типові налаштування VCSEL, що функціонують на довжинах хвиль 683 та 863 нм.

| Параметр | Робоча довжина хвилі, нм | |
|---|--------------------------|-----------------------|
| | 683 | 863 |
| Тепловий повний опір, $K \cdot Wt^{-1}$ (<i>Thermal impedance</i>) | 9800 | 2600 |
| Теплова стала часу, с (<i>Thermal time constant</i>) | 10^{-6} | 10^{-6} |
| Масштабний фактор (<i>Scaling factor</i>) | $2,6 \cdot 10^{-8}$ | $2,6 \cdot 10^{-8}$ |
| Густина зарядів у випромінювальному розкриві cm^{-3} (<i>Carrier density at transparency</i>) | 16540000 | 19400000 |
| Коефіцієнт підсилення, s^{-1} (<i>Gain coefficient</i>) | 16000 | 16000 |
| Час життя носіїв заряду τ_s , с (<i>Carrier lifetime</i>) | $5 \cdot 10^{-9}$ | $5 \cdot 10^{-9}$ |
| Час життя фотонів τ_p , с (<i>Photon lifetime</i>) | $2,064 \cdot 10^{-12}$ | $2,28 \cdot 10^{-12}$ |
| Фактор спонтанного випромінювання (<i>Spontaneous emission factor</i>) | 10^{-6} | 10^{-6} |
| ККД накачки (<i>Injection efficiency</i>) | 1 | 1 |
| Максимальний вхідний струм, мА | 5 | 40 |

Створити проект в програмі згідно з прикладом, що на рисунку 6.24 та виконати дослідження характеристик джерела оптичних сигналів з розподілим зворотним зв'язком.

Розміщення елементів схеми в бібліотеці програми:

– *Psevdo-Random Bit Sequence Generator* – папка *Transmitters Library / Bit Sequence Generators*;

– *NRZ Pulse Generator* – папка *Transmitters Library / Pulse Generator / Electrical*;

– джерела оптичних сигналів на основі лазерних діодів – папка *Transmitters Library / Optical Sources*;

– *Photodetector PIN* – папка *Receivers Library / Photodetectors*;

– *Low Pass Bessel Filter* – папка *Filters library / Electrical*.

Встановити значення *Bit rate* з урахуванням даних з таблиці 6.7 та загальні параметри: *Sequence length* = 128 bits; *Samples per bit* = 256.

Відповідно до даних таблиці 6.7 виконати налаштування параметрів джерела оптичних сигналів «*Bias current*» (I_{BI}) та «*Modulation peak current*» (I_{peak}). Зберегти часові, частотні та індикаторну (*Eye*) діаграми й записати рівні потужності корисного сигналу та шуму. Для запуску збереження результатів моделювання з вимірювальних приладів необхідно використовувати ярлик у лівому верхньому куті вікна графіків (синя іконка), в якому вибрати команду «*Print to Bmp File*».

Таблиця 6.10 – Типові налаштування VCSEL з робочою довжиною хвилі 1550 нм.

| Параметр | Значення |
|---|----------------------|
| Параметри перетворення (<i>Reduce parameters</i>) | Неактивний |
| Температурні ефекти (<i>Thermal effects</i>) | Неактивний |
| Максимальний струм зміщення, мА (<i>Bias current</i>) | 38 |
| Максимальний модулювальний струм, мА (<i>Modulation peak current</i>) | 28 |
| Об'єм активного шару, см ³ (<i>Active layer volume</i>) | $1,5 \cdot 10^{-11}$ |
| Групова швидкість, см/с (<i>Group velocity</i>) | 8500000000 |
| Квантовий ККД (<i>Quantum efficiency</i>) | 0,4 |
| Коефіцієнт диференціального підсилення (<i>Differential gain coefficient</i>) | $2,5 \cdot 10^{-16}$ |
| Густина зарядів у випромінювальному розкритті, см ⁻³ (<i>Carrier density at transparency</i>) | 10^{18} |
| Коефіцієнт утримання моди (<i>Mode confinement factor</i>) | 0,4 |
| Час життя носіїв заряду τ_s , с (<i>Carrier lifetime</i>) | $1 \cdot 10^{-9}$ |
| Час життя фотонів τ_p , с (<i>Photon lifetime</i>) | $3 \cdot 10^{-12}$ |
| Фактор спонтанного випромінювання (<i>Spontaneous emission factor</i>) | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| Коефіцієнт амплітудних спотворень (<i>Gain compression coefficient</i>) | 10^{-17} |
| Коефіцієнт розширення спектральної лінії (<i>Linewidth enhancement factor</i>) | 5 |
| ККД накачки (<i>Injection efficiency</i>) | 1 |

Використовуючи дані таблиці 6.7 встановити в налаштуваннях джерела оптичного сигналу максимальне значення «*Bias current*» (I_{B2}) та за допомогою команди «*Print to Vmp File*» виконати збереження результатів ро-

боти вимірювальних приладів при повторному моделюванні схеми (рис. 6.24).

Змінити тип джерела оптичних сигналів в проекті, що на рис. 6.24, на лазерний діод з вертикальним резонатором (VCSEL). Виконати дослідження характеристик цього джерела оптичних сигналів. Для цього спочатку з таблиці 6.8 встановити необхідне значення *Bit rate* та загальні параметри *Sequence length = 32 bits; Samples per bit = 128*. Встановити в налаштуваннях лазерного діода температуру 20 °С. Згідно з даними таблиці 6.8 встановити робочу частоту джерела оптичних сигналів, а налаштування інших параметрів виконати відповідно до таблиць 6.9, 6.10.

Встановити параметр «*Modulation peak current*» (I_{peak}) в діапазоні 25 – 40 мА. Виконати додаткове налаштування «*WDM Analyzer*» за допомогою меню «*Component Properties*», в якому встановити «*Lower frequency limit*» = 1700 нм та «*Upper frequency limit*» = 600 нм.

Використовуючи індикаторну діаграму та змінюючи під час моделювання параметр «*Bias current*» в діапазоні 1 – 40 мА, визначити найкращий режим роботи лазерного діода. Зберегти часові, частотні та індикаторну (*Eye*) діаграми (за допомогою команди «*Print to Bmp File*») і записати рівні потужності корисного сигналу та шуму при цьому дослідженні.

Змінюючи значення *Bit rate* в діапазоні від заданого значення в таблиці 6.8 до 10 Гбіт/с, за допомогою приладу «*WDM Analyzer*» виконати вимірювання рівнів потужності корисного сигналу та шуму, які записати в таблицю. Виконати не менше 10 вимірювань. Зберегти часові осцилограми оптичного сигналу для трьох точок діапазону зміни параметра *Bit rate* (мінімальний, середній та максимальний).

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми комп'ютерних моделей для дослідження основних параметрів ВОЛЗ та джерел оптичних сигналів у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15 згідно з рис. 6.9, 6.21, 6.22 та 6.24, часові осцилограми та спектри імпульсів, а також висновки щодо особливостей будови, налаштування і моделювання основних параметрів ВОЛЗ та джерел оптичних сигналів у ВОСП.

Контрольні запитання

1. Поясніть причини виникнення матеріальної дисперсії при поширенні оптичних сигналів у ВОЛЗ.
2. Поясніть причини виникнення хвильоводної дисперсії при поширенні оптичних сигналів у ВОЛЗ.
3. Порівняйте властивості нормальної та аномальної дисперсії.
4. Поясніть властивість лінійності ефекту дисперсії у ВОЛЗ.
5. Поясніть вплив дисперсії у ВОЛЗ на тривалість імпульсів оптичних сигналів та їх спектр.

6. Поясніть причини виникнення та наслідки впливу ефекту фазової самомодуляції у ВОЛЗ.
7. Поясніть залежність форми спектра імпульсного сигналу у ВОЛЗ від зміни значення *Bit rate*.
8. Порівняйте характеристики хроматичної дисперсії різних оптичних волокон.
9. Вкажіть нелінійні властивості оптичних волокон.
10. Поясніть принцип роботи гомогенного лазерного діода.
11. Поясніть ват-амперну характеристику лазерного діода та вкажіть його пороговий струм накачування.
12. Порівняйте спектри випромінювання лазерного діода з резонатором Фабрі-Перо та лазерного діода з розподіленим зворотним зв'язком.
13. Поясніть структуру та принцип дії поверхнево випромінюваного лазерного діода з вертикальним резонатором.
14. Порівняйте характеристики лазерних діодів та світлодіодів.
15. Вкажіть характерні нелінійні спотворення для лазерного діода.
16. Поясніть процес реалізації прямої модуляції лазерного діода.
17. Вкажіть типи кодування інформаційних сигналів в цифрових ВОСП.
18. Поясніть призначення око-діаграми цифрових сигналів.
19. Поясніть залежність зміни форми обвідної модульованого оптичного сигналу від зміни значення *Bit rate* керівного цифрового сигналу в діапазоні від 1 до 10 Гбіт/с. Вкажіть причини такої залежності.
20. Поясніть переваги та недоліки методу прямої модуляції оптичних сигналів.

Лабораторна робота № 7

Тема: Дослідження основних характеристик електрооптичного модулятора Маха-Цандера у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15.

Мета роботи: Виконати дослідження принципу дії та основних характеристик електрооптичного модулятора (ЕОМ) Маха-Цандера за допомогою програми OptiSystem 15.

Обладнання: 1. Персональний комп'ютер з ОС Windows 7 (64);
2. Програмне забезпечення OptiSystem 15;
3. Методичні вказівки до роботи з OptiSystem 15;
4. Проекти для дослідження складових ВОСП в програмі OptiSystem 15.

Теоретичні відомості

Робота ЕОМ Маха-Цандера (ММЦ) базується на квантовій моделі електрооптичного фазового модулятора з урахуванням деяких особливостей.

На рисунку 7.1 відображено типову модель електрооптичного фазового модулятора, яка складається з хвилеводу, що утворений в процесі дифузії електрооптичного матеріалу (як правило Ti) в підложку (на основі $LiNbO_3$) та системи керівних електродів, що охоплюють оптичний хвилевід на ділянці довжиною l вздовж осі поширення оптичної хвилі.

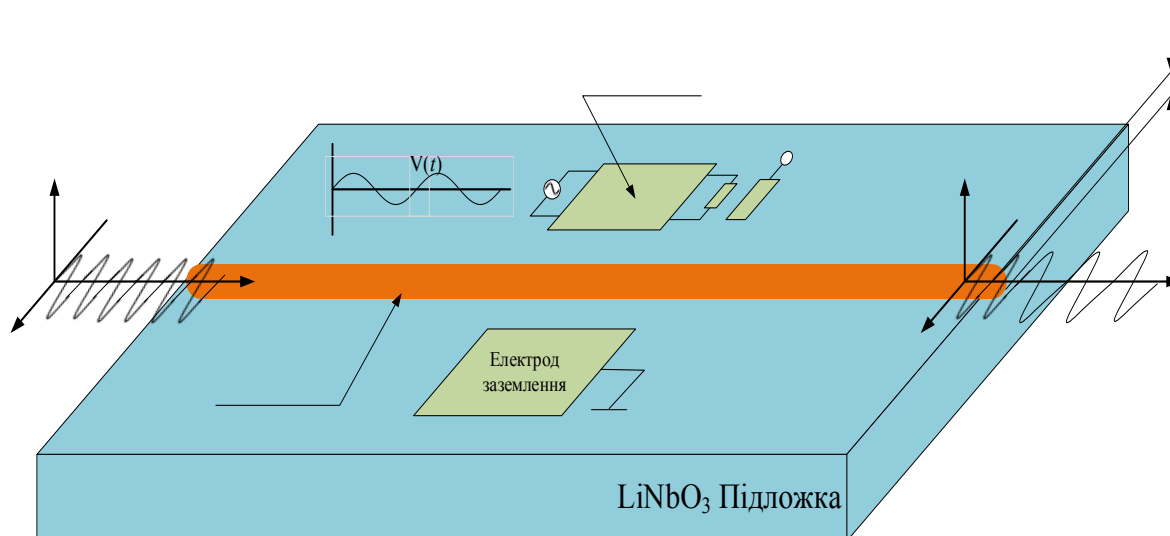


Рисунок 7.1 – Загальний вигляд конструктивної моделі електрооптичного фазового модулятора

Одна група електродів забезпечує введення в систему модулятора постійної напруги зміщення V_{DC} , інша група використовується для узгодження виходу модулятора з ОБ, що дозволяє здійснити узгодження групової швидкості поширення змінної напруги з швидкістю оптичної хвилі. Це узгодження швидкостей є важливим фактором для забезпечення максимально широкої смуги робочих частот модулятора.

Під дією прикладеної до електродів напруги статичний показник заломлення електрооптичного матеріалу змінюється практично за лінійним законом

$$n(V) = n_0 + \left(\frac{rn_0^3 V}{2d} \right),$$

де r – електрооптичний коефіцієнт, який для $LiNbO_3$ набуває значення в діапазоні 5 – 18 nm/V .

Також бажано забезпечити дотримання вимог до поляризації оптичної хвилі, що поширюється вздовж однієї з осей поперечного перерізу хвилеводу. До переваг цього фазового модулятора, порівняно з конфігураціями на основі багат шарових структур, можна віднести низькі власні втрати 0,1 – 0,2 дБ.

Значення напруги керування модулятором можна визначити за співвідношенням

$$V(t) = V_{DC} + \Delta V(t).$$

При цьому вихідний оптичний сигнал можна описати виразом

$$\begin{aligned} E_{out}(l, t) &= E_0 \exp(-j\omega_0 t) \exp(i\varphi_B) \exp\left(-i\pi \frac{\Delta V(t)}{V_\pi}\right) = \\ &= E_{in}(0, t) \exp(i\varphi_B) \exp\left(-i\pi \frac{\Delta V(t)}{V_\pi}\right), \end{aligned}$$

де φ_B – постійний фазовий зсув, що зумовлений присутністю напруги зміщення та визначається за формулою

$$\varphi_B = \frac{\omega_0}{c} \left(n_0 l - \frac{n_0^3}{2} r V_{DC} \frac{l}{d} \right) = kl - \pi \frac{V_{DC}}{V_\pi};$$

де $k = \frac{\omega_0 n_0}{c}$ – хвильове число; $V_\pi = \frac{\lambda_0 d}{n_0^3 r l}$ – півхвильова напруга модулятора,

яка визначається як необхідне значення V_{DC} для забезпечення фазового зсуву на 180.

За умови амплітудної модуляції керівного сигналу $V(t)$, фазову модуляцію можна описати у вигляді повільно змінюваних комплексних об'єднаних

$$\begin{aligned} E_{in}(0, t) &= A_{in}(t) \exp(-j\omega_0 t); \\ E_{out}(l, t) &= A_{out}(t) \exp(-j\omega_0 t), \end{aligned}$$

$$\text{де } A_{out}(t) = A_{in}(t) \exp(i\varphi_B) \left(-i\pi \frac{\Delta V(t)}{V_\pi} \right).$$

Прийнявши $A_{in} = E_0$ та розглядаючи випадок амплітудної модуляції у вигляді

$$\Delta V(t) = V_m \cos(\Omega t + \theta),$$

отримаємо

$$A_{out}(t) = E_0 \exp(i\varphi_B) \exp(-im \cos(\Omega_0 t + \theta)),$$

де $m = \frac{\pi V_m}{V_\pi}$ – індекс модуляції.

Для електрооптичного фазового модулятора також необхідно врахувати дисперсію, яка призводить до розузгодження фаз хвиль в модуляторі, що зменшує смугу робочих частот. На основі особливостей моделі (рис. 7.1) формується квантова модель електрооптичного амплітудного модулятора Маха-Цандера (ЕОММЦ), яку зображено на рисунку 7.2.

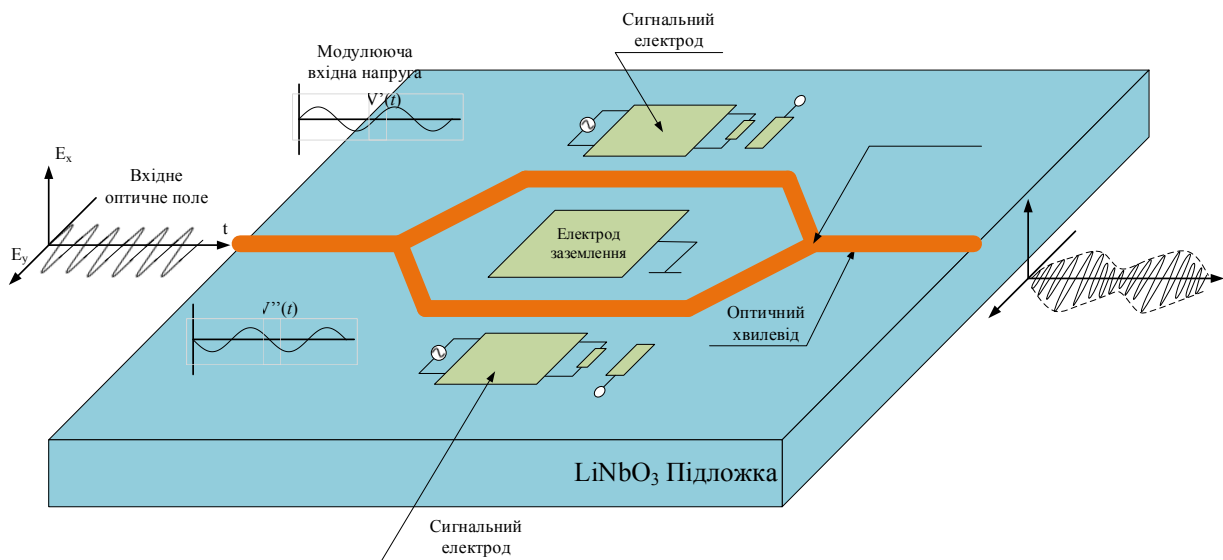


Рисунок 7.2 – Модель електрооптичного амплітудного модулятора Маха-Цандера

ЕОММЦ складається з двох електрооптичних фазових модуляторів.

На рисунку 7.3 подано основні варіанти конфігурації модулятора, які можна поділити на дві групи: схеми з одним внутрішнім фазовим модулятором (рис. 7.3, б, г, е) – асиметричні ЕОММЦ та схеми з двома модуляторами (рис. 7.3, а, в, д) – ЕОММЦ з подвійним керуванням.

Найбільше використовуються на практиці схеми ЕОММЦ (рис. 7.3, а, б), в яких вхідний та вихідний подільники оптичних сигналів побудовані на основі Y -триників. В схемах ЕОММЦ (рис. 7.3, в, г) вхідний та вихідний по-

ділянки оптичних сигналів побудовані на основі направлених розгалужувачів. Такі модулятори мають додатковий вхідний та вихідний порт і характеризуються підвищеною вартістю через підвищену складність виготовлення симетричного направленного відгалужувача порівняно з реалізацією Y-трийника. Тому ці варіанти використовуються досить рідко. В системах кабельного телебачення, в основному, використовуються гібридні схеми ЕОММЦ (рис. 7.3, д, е).

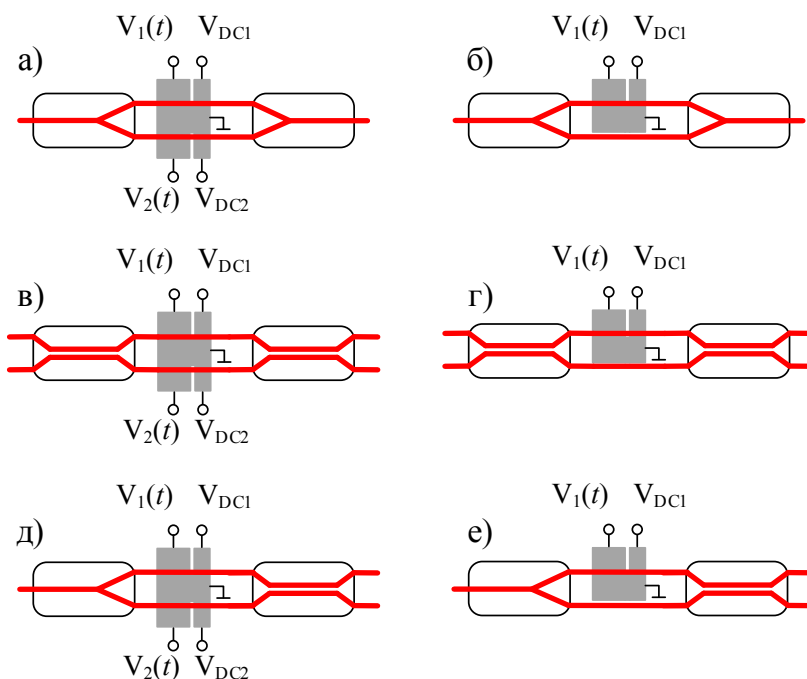


Рисунок 7.3 – Узагальнені структури ЕОММЦ

Залежність потужності вихідного оптичного сигналу ЕОММЦ від модулюючого електричного сигналу можна записати у вигляді формули

$$P_{out}(t) = P_{in} \frac{1}{2} \left[1 + \cos(\Phi(t)) \right],$$

де $\Phi(t) = \varphi_B + \frac{\pi V_m \cos(\Omega_0 t + \theta)}{V_\pi}$ – власний фазовий зсув, що виникає в кожному плечі ЕОММЦ; φ_B – постійний фазовий зсув, що зумовлений постійною напругою зміщення.

Результуючий вираз для передатної функції ЕОММЦ можна записати у вигляді

$$T_{ММЦ}(V) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\varphi_B + \frac{\pi V}{V_\pi} \right) \right].$$

На рисунку 7.4 відображено передатну характеристику ЕОММЦ, яка дозволяє задати режим роботи модулятора. Для цього на характеристиці модулятора $T(V)$ необхідно вибрати положення робочої точки за рахунок подачі на керівні електроди постійної напруги зміщення V_{DC} , при якій забезпечується необхідний початковий зсув фази φ_B в кожному плечі ЕОММЦ. В більшості випадків робоча точка вибирається на середині лінійної ділянки передатної характеристики модулятора.

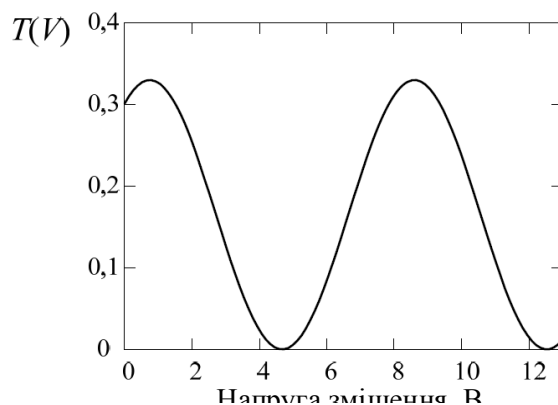


Рисунок 7.4 – Загальний вигляд передатної характеристики ЕОММЦ

При побудові оптичного каналу з зовнішньою модуляцією на основі ЕОММЦ з повним керуванням (рис. 7.3, а, в, д) необхідно для двох плечей модулятора виконати умову квадратури збудження, коли

$$V_1(t) = -V(t).$$

При порушенні заданої умови можуть виникнути: зменшення глибини модуляції; паразитна лінійна частотна модуляція на інтервалі часу наростання модульованих за інтенсивністю оптичних імпульсів; запливання нулів передатної характеристики модулятора.

За умови однакових характеристик плечей диференціального модулятора Маха-Цандера значення індекса чірпу (ЛЧМ) можна визначити за формулою

$$\alpha(t) = \frac{V_1(t) + V_2(t)}{V_1(t) - V_2(t)},$$

де $V_1(t)$ та $V_2(t)$ – миттєві значення амплітуд напруги модуляції двох плечей модулятора.

Вплив ефекту чірпування (ЛЧМ) у високошвидкісних ВОСП може спричинити зменшення довжини ВОЛТ.

На рисунку 7.5 відображена топологія схеми для проведення дослідження характеристик оптичного сигналу в оптичному передавачі з зовнішньою модуляцією на основі модулятора Маха-Цандера.

В сучасних ВОСП широко використовується односмугова амплітудна модуляція з передаванням або з придушенням носійної частоти, що дозволяє зменшити ширину смуги оптичного спектра одного оптичного каналу (при спектральному ущільненні) та особливо важливо при використанні модульованих частот міліметрового діапазону (понад 30 ГГц).

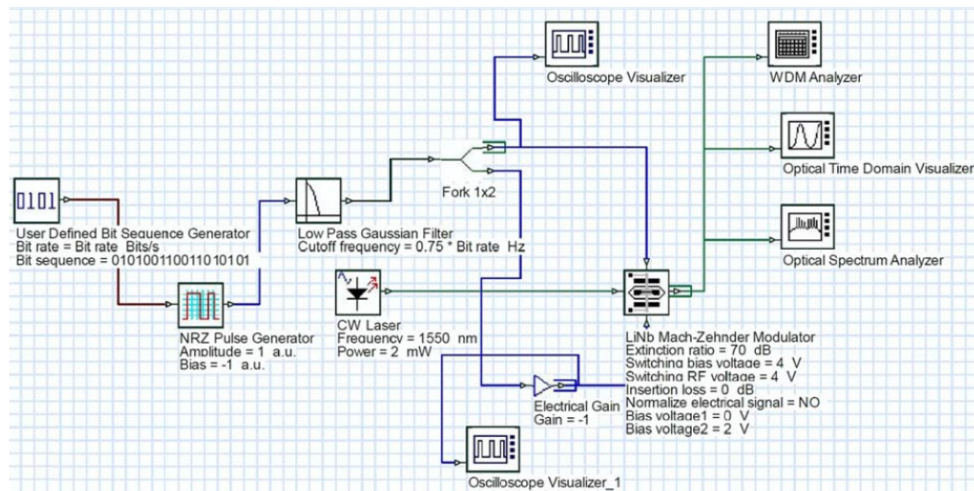


Рисунок 7.5 – Топологія схеми для дослідження функціональних характеристик модулятора Маха-Цандера

На рисунку 7.6 показано топологію схеми для дослідження режиму односмугової модуляції на основі двох ЕОММЦ.

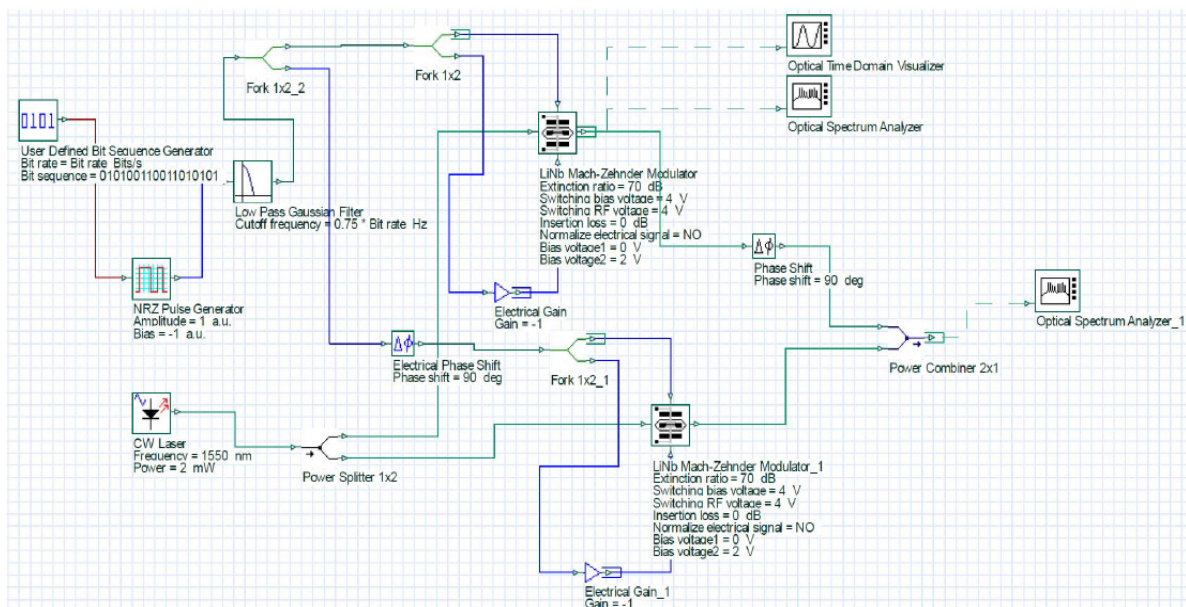


Рисунок 7.6 – Топологія схеми для дослідження режиму односмугової модуляції на основі двох ЕОММЦ

На основі двох або трьох зовнішніх модуляторів можна реалізувати ефективні формати модуляції оптичних сигналів: двобінарну амплітудно-фазову модуляцію (*duobinary AM/PSK modulator*); диференціальну (двофазну) маніпуляцію (*DPSK*); диференціальну квадратурну фазову маніпуляцію (*DQPSK*).

На рисунку 7.7 зображено схему для дослідження двобінарної амплітудно-фазової модуляції.

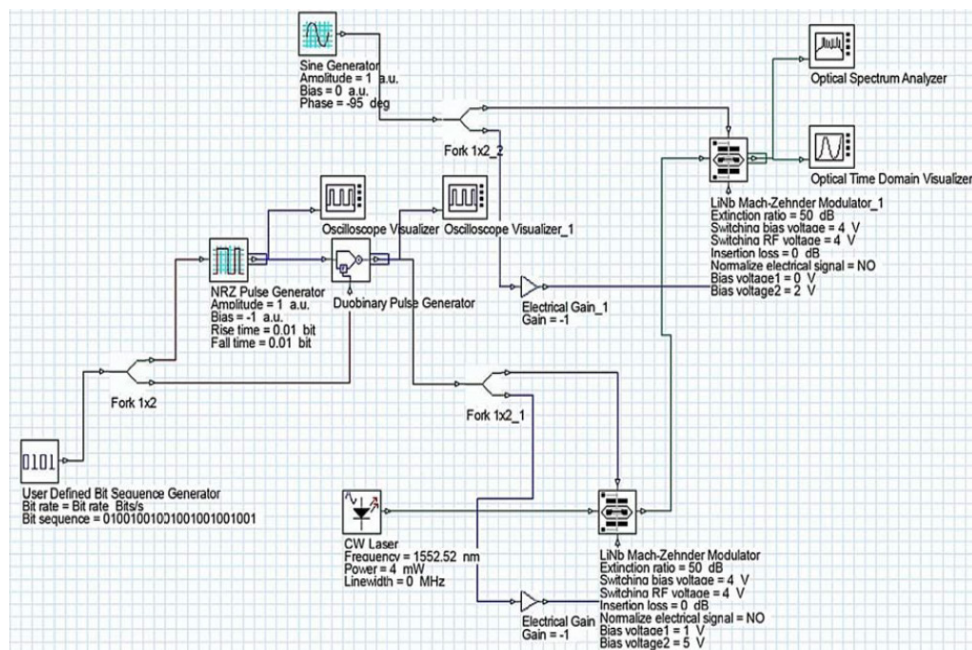


Рисунок 7.7 – Схема для дослідження двобінарної амплітудно-фазової модуляції

Домашнє завдання

Вивчити теоретичні відомості.

Визначити поріг чутливості фотоприймача якщо вхідний рівень середньої оптичної потужності дорівнює -33 дБм; тактова частота інформаційного сигналу відповідає рівню STM-2; робоча довжина хвилі становить 1,56 мкм; квантова ефективність дорівнює 80%. Попередній підсилювач характеризується низьким коефіцієнтом шуму, а ЛФД обраний на основі фосфіду індію. Допустима ймовірність похибки регенерації дорівнює 10^{-10} . Пояснити результати розрахунків.

Використовуючи технічний опис та інструкцію з використання OptiSystem 15, ознайомитись із призначенням команд програми.

Ознайомитись із процесом конфігурування блоків ВОСП згідно з порядком виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 7.8 наведено лабораторного стенда дослідження ВОСП на базі ПК.

Recommended OptiSystem Setup

Windows 10™ 64-bit

Intel® Core™ i7 Processor

Tesla/Quadro/GeForce CUDA-enabled NVIDIA GPU

16Gb RAM



Рисунок 7.8 – Структурна схема лабораторного стенда дослідження ВОСП на базі ПК

Порядок виконання роботи

1. Виконати дослідження характеристик електрооптичного модулятора Маха-Цандера. Для цього спочатку необхідно створити в програмі OptiSystem 15 схему згідно з рисунком 7.5 та встановити параметри джерела оптичного сигналу і генератора послідовності бітів з урахуванням даних таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Параметри джерела оптичного сигналу та генератора послідовності бітів

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|-------------------------|------------------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|
| <i>Bit rate, Гбум/с</i> | 15 | 10 | 17 | 20 | 14 | 24 | 18 | 22 | 25 | 30 |
| λ , нм | 1500 | 1600 | 1510 | 1590 | 1520 | 1590 | 1530 | 1580 | 1540 | 1560 |
| P_0 , мВ | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 |
| <i>Bit sequence</i> | 0110011001010101 | | | | | 1010110010100111 | | | | |

Примітка. N – остання цифра номера залікової книжки; *Bit rate* – швидкість передавання бітів; λ – робоча довжина хвилі оптичного сигналу; P_0 – вихідна потужність лазерного діода; *Bit sequence* – бітова послідовність, що передається.

Таблиця 7.2 – Параметри джерела оптичного сигналу

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|-------------|---|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|
| P_0 , мВт | 2 | 3 | 4 | 3,5 | 2,5 | 2 | 3 | 4,5 | 3,5 | 4 |

Примітка. N – остання цифра номера залікової книжки; P_0 – вихідна потужність лазерного діода.

Перелік необхідних компонентів для побудови схеми дослідження характеристик електрооптичного модулятора Маха-Цандера:

- *Electrical Gain* – папка *Signal Processing Library/Arithmetic/Electrical*;
- Fork 1x2 – папка *Tools Library*;
- *LiNb Mach-Zehnder Modulator* – папка *Transmitters Library / Optical Modulators*;
- *Duobinary Pulse Generator* – папка *Transmitters Library / Pulse Generators / Electrical*.

Встановити значення *Bit rate* відповідно до таблиці 7.1 та загальні параметри проекту: *Sequence length* = 32 bits; *Samples per bit* = 32. Для модуля «*Electrical Gain*» () задати значення *Gain* = -1. В налаштуваннях модулятора відключити опцію «*Normalize electrical signal*» та задати параметр «*Extinction ratio*» (коефіцієнт контрастності модулятора) 200 дБ.

Для «*NPZ Pulse Generator*» встановити значення:

$$Amplitude = 1; Bias = -1.$$

Виконати налаштування модуля «*Optical Time Domain Visualizer*» за допомогою підменю «*Component Properties*» з урахуванням вихідних даних на рисунку 7.9.

Виконати моделювання складеної схеми та зберегти результати з вимірювальних приладів. За допомогою опції «*Details*» в модулі «*WDM Analyzer*» визначити загальні дані за рівнем сигналу, шуму та відношення сигнал/шум на виході модулятора.

| Graphs | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------|--------|
| Disp | Name | Value | Units | Mode |
| <input type="checkbox"/> | Plot individual mode | <input type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Individual mode number | 0 | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Time unit | s | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Reference bit rate | Bit rate | 5 Bits/s | Script |
| <input type="checkbox"/> | Autocorrelation | Off | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Calculate phase and chirp | <input checked="" type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Phase unit | deg | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Unwrap phase | <input checked="" type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Calculate alpha parameter | <input type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Power unit | W | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Minimum value | -100 | dBm | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Limit number of points | <input checked="" type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Max. number of points | 128000 | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Invert colors | <input type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Enable color grade | <input type="checkbox"/> | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Number of color bins | 500 | | Normal |
| <input type="checkbox"/> | Color grade palette | Default | | Normal |

Рисунок 7.9 – Правила налаштування модуля «*Optical Time Domain Visualizer*»

Правою клавішею мишки відкрити контекстне меню модуля «*Optical Time Domain Visualizer*», в якому вибрати опцію «*Component View*». Після цього перейти в підменю «*2D Graphs*», в якому зліва від вікна графіків розміщені дві групи меню опцій: «*Left Display*» та «*Right Display*» В опції

«*Left Display*» поставити «галочку» на функції «*Signal Power*», а в опції «*Right Display*» відмітити функцію «*Signal Chirp X*». Зберегти отримані графіки (за допомогою команди «*Print to Bmp File*», що знаходиться в меню вікна графіків).

Для «*NPZ Pulse Generator*» встановити значення: $Amplitude = 1,5$; $Bias = -1,5$.

Для модуля «*Electrical Gain*» встановити значення $Gain = -0,333$.

Повторити моделювання функціонування схеми згідно з рисунком 7.5 та зберегти результати роботи вимірювальних пристроїв.

2. Виконати дослідження методики реалізації односмугової модуляції на основі двох ЕОММЦ. Для цього спочатку необхідно створити схему згідно рисунку 6. Перелік необхідних компонентів для реалізації схеми знаходяться в бібліотеці програми:

Electrical Phase Shift – папка *Passive Library / Electrical*;

Phase Shift – папка *Passive Library / Optical*.

Встановити параметри проекту: значення *Bit rate* відповідно до таблиці 7.1 та загальні параметри проекту: $Sequence\ length = 32\ bits$; $Samples\ per\ bit = 32$. Для модуля «*Electrical Gain*» () задати значення $Gain = -1$. В налаштуваннях модулятора відключити опцію «*Normalize electrical signal*» та задати параметр «*Extinction ratio*» (коефіцієнт контрастності модулятора) 200 дБ. Встановити для «*NPZ Pulse Generator*» значення: $Amplitude = 1$; $Bias = -1$. Встановити параметри лазерного діода та генератора послідовності бітів з урахуванням таблиці 7.1.

Виконати моделювання роботи схеми (згідно з рисунком 7.6) та зберегти результати моделювання з вимірювальних приладів.

3. Для дослідження методики реалізації двобінарної амплітудно-фазової модуляції оптичного сигналу необхідно використати схему відповідно до рисунку 7.7 та встановити параметри лазерного діода та генератора послідовності бітів з урахуванням таблиці 7.1. Встановити значення *Bit rate* згідно з даними таблиці 7.1, загальні параметри: $Sequence\ length = 16\ bits$; $Samples\ per\ bit = 128$.

Виконати налаштування параметрів «*NPZ Pulse Generator*», модуляторів Маха-Цандера відповідно до даних рисунку 7.7. Для лазерного встановити робочу довжину хвилі згідно з даними таблиці 7.1, а значення вихідної потужності оптичних сигналів вибрати з таблиці 7.2. Задати частоту генератора синусоїдального сигналу такою, що дорівнює значенню «*Bit rate*» відповідно до таблиці 7.1.

В контекстному меню модуля «*Optical Time Domain Visualizer*» вибрати пункт «*Component View*», в якому перейти на вкладку «*2D Graphs*». Після цього в групі параметрів «*Left Display*» позначити «галочкою» опцію «*Signal Power*», а в групі параметрів «*Right Display*» встановити «галочку» в опцію «*Signal Chirp X*». Після виконання моделювання за допомогою команди «*Print to Bmp File*» зберегти отримані графіки, які мають бути аналогічними графікам на рисунку 7.10.

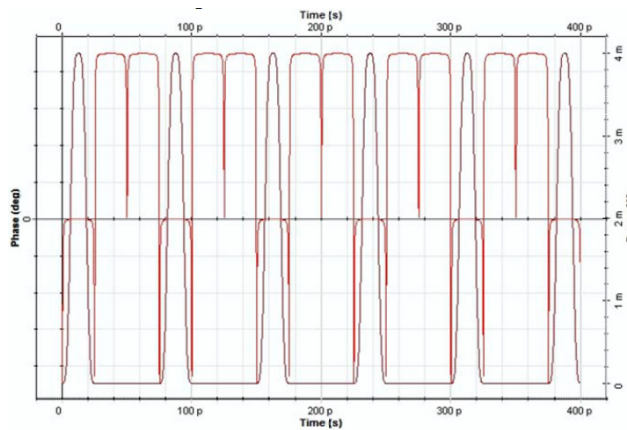


Рисунок 7.10 – Приклад часової діаграми двобінарної амплітудно-фазової модуляції оптичного сигналу

Зберегти зображення спектра оптичного сигналу за допомогою модуля «*Optical Spectrum Analyzer*» (за допомогою команди «*Print to Bmp File*»).

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми комп'ютерних моделей для дослідження основних характеристик електрооптичного модулятора Маха-Цандера у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15 згідно з рис. 7.5 – 7.7, часові осцилограми та спектри сигналів, а також висновки щодо особливостей будови, налаштування і моделювання основних характеристик електрооптичного модулятора Маха-Цандера у ВОСП.

Контрольні запитання

1. Порівняйте методики реалізації прямої та зовнішньої модуляції оптичних сигналів у ВОСП.
2. Поясніть принцип дії електрооптичного модулятора Маха-Цандера.
3. Вкажіть варіанти побудови електрооптичного модулятора Маха-Цандера, що використовуються на практиці.
4. Поясніть правила вибору значення постійної напруги зміщення для електрооптичного модулятора Маха-Цандера.
5. Поясніть суть передатної характеристики електрооптичного модулятора.
6. Поясніть вплив різниці між амплітудами напруг керування в плечах електрооптичного модулятора Маха-Цандера на його характеристики.
7. Вкажіть формати модуляції, що можна реалізувати за допомогою від одного до трьох модуляторів Маха-Цандера.
8. Поясніть методику реалізації двобінарної амплітудно-фазової зовнішньої модуляції оптичних сигналів у ВОСП.
9. Порівняльний аналіз швидкості передачі інформаційних потоків прямої та зовнішньої модуляції оптичних сигналів у ВОСП.

Лабораторна робота № 8

Тема: Дослідження характеристик ербієвого та раманівського оптичних підсилювачів у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15.

Мета роботи: Виконати дослідження основних характеристик ербієвого та раманівського волоконних підсилювачів за допомогою програми OptiSystem 15.

Обладнання: 1. Персональний комп'ютер з ОС Windows 7 (64);
2. Програмне забезпечення OptiSystem 15;
3. Методичні вказівки до роботи з OptiSystem 15;
4. Проекти для дослідження складових ВОСП в програмі OptiSystem 15.

Теоретичні відомості

Оптичні підсилювачі ВОСП можна класифікувати за принципом дії.

Підсилювачі на основі оптичних волокон (ОВ), які базуються на використанні ефекту вимушеного розсіювання Мандельштама-Брілюена, при якому енергія оптичної хвилі (на частоті f_1) переходить в енергію іншої хвилі (на частоті f_2).

Напівпровідникові оптичні підсилювачі (ОП) на основі напівпровідникових матеріалів та електричного накачування використовують вимушену емісію фотонів, яка виникає в результаті взаємодії фотонів інформаційного сигналу та випромінюваної рекомбінації носіїв заряду у напівпровіднику.

Параметричні ОП базуються на ефекті чотирихвильового зміщення та потребують значної потужності накачування (в межах 30 – 70 Вт) і характеризуються значним коефіцієнтом підсилення (приблизно 50 дБ).

ОП на основі ОВ з домішками ербію (ербієві волоконні підсилювачі).

Підсилювачі на основі ОВ, що базуються на використанні вимушеного комбінаційного розсіювання Рамана схожі за принципом дії з ОП на основі розсіювання Мандельштама-Брілюена, за виключенням більшого зміщення між частотою інформаційного сигналу та частотою накачування. Смуга пропускання цих ОП також більша, а потужність накачування становить 0,5 – 1,4 Вт, залежно від довжини ОВ.

В оптичних телекомунікаційних мережах широко використовуються квантові оптичні підсилювачі *EDFA* (*Erbium-Doped Fiber Amplifier* – оптичний підсилювач на основі легованого ербієм ОВ). Діапазон робочих довжин хвиль простих EDFA лежить в межах від 1525 нм до 1565 нм, що ідеально підходить для підсилення потужності випромінювання в «С-діапазоні» DWDM (щільне багатохвильове ущільнення) систем. Для забезпечення підсилення сигналів з «L-діапазону» необхідно використовувати *LWEDFA* (*Long Wavelength EDFA* – довгохвильові EDFA), що працюють в діапазоні від 1570 нм до 1605 нм. За рахунок використання підсилювачів EDFA забезпечується підсилення потужності сигналів в ВОСП на основі DWDM (системи з багатохвильовим ущільненням), що дозволило спростити

будову їх ВОЛТ та зменшити загальну вартість комплексу обладнання DWDM.

Підсилювачі EDFA також можуть використовуватись в мережах кабельного телебачення, для яких характерні вимоги до значення потужності та якості сигналу (наприклад відношення сигнал/шум). Широке використання ербієві волоконні підсилювачі отримали також в пасивних оптичних мережах (PON) з великою кількістю абонентів через складну структуру розгалужувачів та наявність значних втрат потужності оптичних сигналів.

Принцип дії оптичних ербієвих волоконних підсилювачів (ЕВП) базується на квантовому ефекті підсилення оптичних сигналів на відрізку ОВ з домішками ербію, при вимушеному випромінюванні, яке також характерне для процесу виникнення генерації випромінювання в лазерних діодах.

ЕВП складається з відрізка ОВ довжиною в декілька метрів, в який внесено велику концентрацію іонів ербію Er (а також додатково легований Al та Ge). Іони Er збуджуються на декількох певних довжинах хвиль: 514; 532; 667; 800; 980 та 1480 нм. На найкоротшій довжині хвилі 514 нм відбувається збудження найвищого рівню енергії іонів ербію.

На рисунку 8.1 показано три основних енергетичних рівні ербію: нижній – основний, верхній – короткочасний (тривалістю 1 мкс) та проміжний – метастабільний (тривалістю 10 мс), а також процеси переходів між ними.

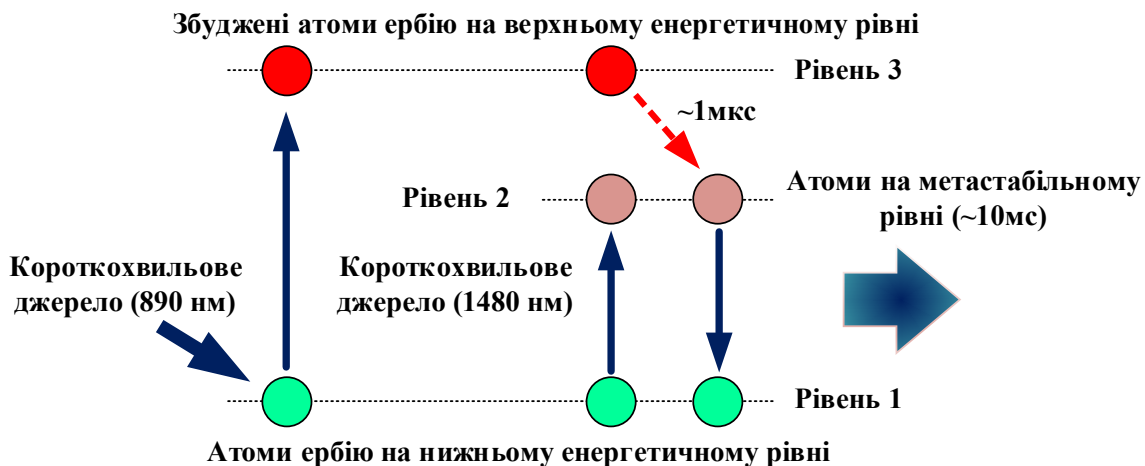


Рисунок 8.1 – Спрощені схеми збудження іонів ербію та їх переходів в основний стан з випромінюванням

В основному використовуються дві довжини хвилі накачування – 980 та 1480 нм. При поширенні слабого входного сигналу на довжині хвилі в межах 1520 – 1620 нм відбувається «зіштовхування» фотонів з метастабільного рівня та підсилення сигналу за рахунок вимушеного випромінювання.

Підсилювачі з робочим діапазоном в межах 1525 – 1565 нм називають «підсилювачами С-діапазону», а підсилювачі з робочим діапазоном в межах 1568 – 1620 нм називають «підсилювачами L-діапазону».

При накачуванні ОП EDFA на довжині хвилі 980 нм приблизно через 1 мкс збуджені іони переходять на метастабільний рівень на час тривалістю до 10 мс, поки через підсилювач не пройде сигнал. Після цього іони переходять в основний стан, випромінюючи оптичні сигнали з довжиною хвилі, яка дорівнює довжині сигналу, що поширюється. Якщо за 10 мс через накачаний підсилювач не пройде сигнал, то іони ербію спонтанно перейдуть в основний стан, випромінюючи при цьому оптичні сигнали з довжиною хвилі 1550 нм. Оскільки ефективна швидкість передавання інформації у ВОСП досить висока (Гбіт/с), а час передачі одиниці інформації досить малий (пс) порівняно з тривалістю дії метастабільних рівнів (мс), і саме тому відсутня міжсимвольна інтерференція. Але спонтанне випромінювання підсилює загальний шум ВОЛТ.

Необхідно відмітити, що не усі іони ербію знаходяться в метастабільному стані та забезпечують підсилення. Частина іонів знаходиться на рівні 1 (рис. 8.1) та взаємодіє з генерованими фотонами, енергія яких збігається з енергією переходу, ефективно їх поглинає та переходить на рівень 2. При цьому спектр підсилення іонів ербію практично збігається зі спектром поглинання (рис. 8.2). Якщо кількість іонів, що знаходяться на рівні 2, буде меншою за кількість іонів, що знаходяться на рівні 1, то буде спостерігатись процес поглинання потужності.

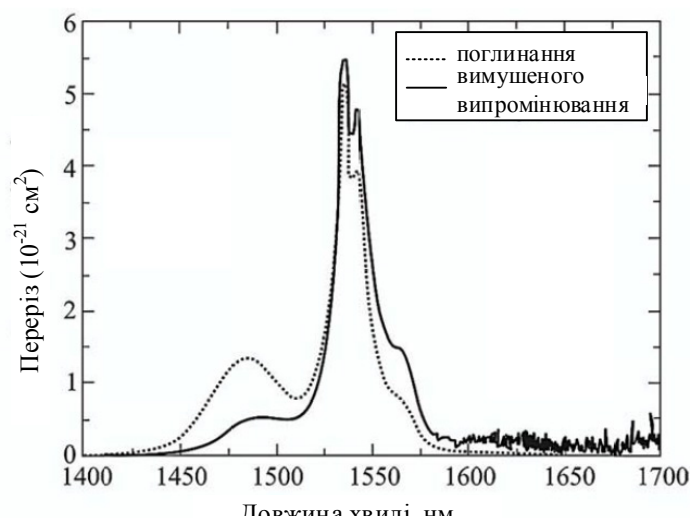


Рисунок 8.2 – Спектри поглинання та випромінювання ербію в межах 1500 нм

Саме тому необхідною умовою для здійснення підсилення оптичних сигналів в цих ОП є створення інверсії насиченості між двома робочими рівнями енергії 2 та 1. Для цього необхідно перевести приблизно половину іонів ербію на метастабільний рівень 2. При цьому потужність накачування оптичного підсилювача, при якій забезпечуються однакові насиченості рівнів 1 та 2 називають пороговою потужністю.

При потужності накачування, нижчій за порогову потужність, спостерігається поглинання оптичного сигналу. На рисунку 8.3 зображено спектри поглинання-підсилення при різних значеннях відносної насиченості рівня 2, яка характеризується рівнем потужності накачування. Нижня крива характеризує випадок відсутності накачування (всі частинки перебувають в основному стані, насиченість рівня 2 становить 0 %), що відповідає «від'ємному підсиленню», тобто процесу поглинання на всьому робочому спектральному діапазоні. При збільшенні потужності накачування збільшується кількість активних іонів, що переходять до збудженого стану. Це призводить, як видно з рисунка 8.3, спочатку до зменшення коефіцієнта поглинання та в подальшому – підсилення оптичних сигналів.

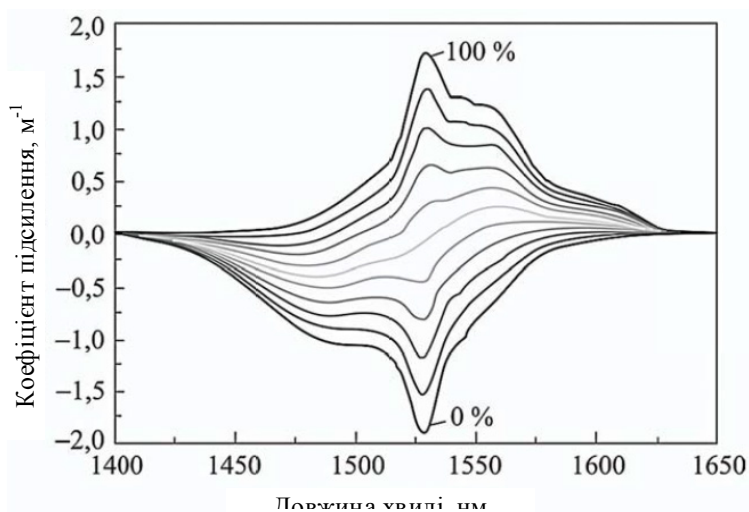


Рисунок 8.3 – Спектральна залежність підсилення-поглинання ербієвого волокна при різних значеннях відносної насиченості метастабільного рівня енергії: нижня крива – насиченість 0 %; верхня крива – насиченість 100 %; крок зміни кривих насиченості становить 10 %.

Оскільки спектр підсилення дещо зсунутий в діапазон довгих хвиль відносно спектра поглинання, тому для підсилення в діапазоні довгих хвиль необхідно менше значення інверсії насиченості енергетичних рівнів.

Найпростіша схема модуля ербієвого волоконного оптичного підсилювача складається з таких основних елементів (рис. 8.4):

а) напівпровідникового джерела накачування (*Pump Laser*) з робочими довжинами хвиль 980 або 1480 нм;

б) оптичного об'єднувача каналу накачування, що працює на довжині хвилі 980/1480 нм з потужністю інформаційного сигналу, яку необхідно підсилювати (*WDM coupler*);

в) оптичного волокна з домішками ербію;

г) оптичного ізолятора, який, пропускаючи оптичні сигнали в одному напрямку, запобігає попаданню відбитого сигналу від оптичних елементів,

що знаходяться після нього (наприклад, брегівської решітки), в активне ОВ та напівпровідникове джерело накачування;

д) брегівської решітки, яка вирівнює спектр підсилення в робочому діапазоні довжин хвиль.

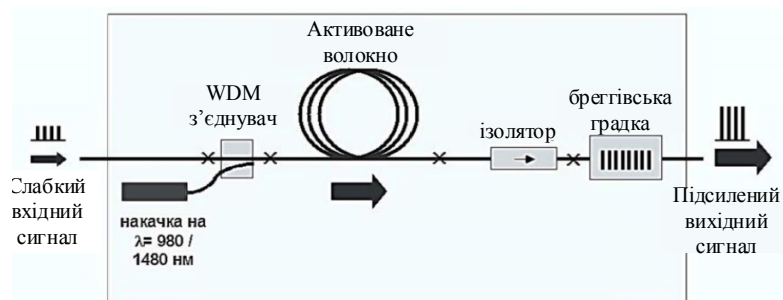


Рисунок 8.4 – Узагальнена структурна схема ербієвого волоконного підсилювача

Ширина смуги підсилення характеризується спектром випромінювання іонів ербію в матеріалі осердя ОВ. Найбільш широким спектром випромінювання характеризуються іони ербію в алюмосилікатному склі ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) як показано на рисунку 8.5.

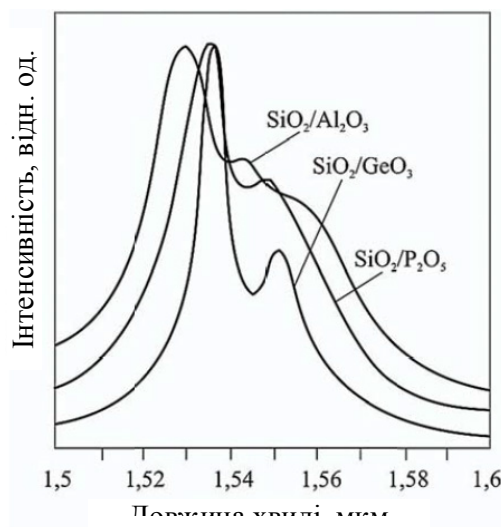


Рисунок 8.5 – Спектри випромінювання іонів ербію в кварцовому склі з різними домішками

На рисунку 8.6 зображені спектри підсилення типового ербієвого ОП на основі алюмосилікатного скла при двох значеннях потужності вхідного сигналу.

Смуга пропускання та її рівномірність, динамічний діапазон та інші характеристики ЕВП напряму залежать від параметрів легованого доміш-

ками ОВ, зокрема довжини, діаметра осердя, характеру однорідності накачування, а також від топології ОП.

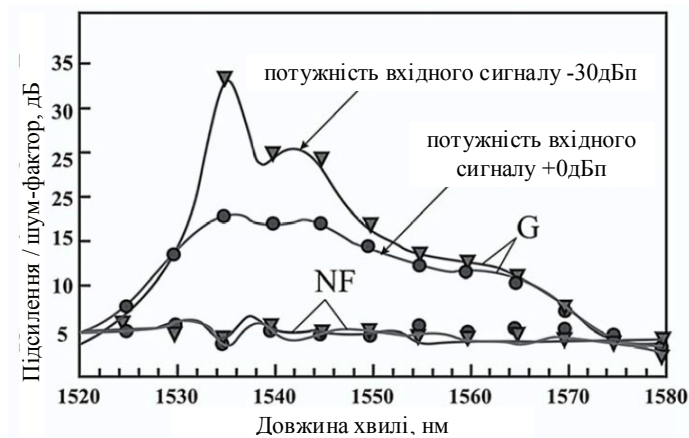


Рисунок 8.6 – Спектральні залежності коефіцієнта шуму (NF) та підсилення (G) ербієвого ОП при двох значеннях вхідного сигналу

Через необхідність забезпечення однакового підсилення сигналів в кожному спектральному каналі багатоканальної ВОСП виконують вирівнювання спектра підсилення за допомогою оптичних фільтрів різних типів, наприклад, при використанні брегівських решіток або за рахунок використання спеціального активного ОВ з фторидними або телуритними домішками. При цьому ОП, що використовуються у ВОСП із спектральним ущільненням каналів, характеризуються нерівномірністю коефіцієнта підсилення в межах не більше декількох дБ у всій робочій смузі частот.

Вимушене комбінаційне розсіювання («раманівське»), що базується на взаємодії енергії сигналу накачування з матеріалом осердя ОВ, забезпечує підсилення на необхідній оптичній довжині хвилі, яке відносно рівномірно розподіляється по всій довжині одномодового оптичного кабелю (ВОК). До складу довгих ВОЛТ із спектральним розподілом оптичних каналів входять потужні раманівські лазери накачування (від 500 до понад 1000 мВт) та відповідні пристрої введення випромінювання в ООВ для створення ВКР. Тому такі ВОП називають також ВКР-підсилювачами або раманівськими підсилювачами.

В ООВ на основі кварцового скла існує два базових типи розсіювання фотонів (квантів): релєївське та раманівське. У звичайних умовах релєївське розсіювання домінує над раманівським. При раманівському розсіюванні (в режимі значного накачування ООВ) фотони змінюють свою траєкторію та віддають частину своєї енергії мікрочастинкам відповідно до стокового співвідношення

$$h\omega_s = h(\omega_n - \omega_m),$$

де ω_n – частота фотона накачування; ω_m – частота власних коливань мікро-частинки; $\omega_s = \omega_n - \omega_m$ частота нового фотона (стоксова), який виник в результаті нелінійної взаємодії фотона накачування з частотою ω_n та мікро-частинки з частотою ω_m . При збільшенні потужності накачування спостерігається збільшення кількості фотонів з енергією $h\omega_n$. Таким чином, в оптично збудженому середовищі створені за рахунок випромінювання накачування стоксові фотони не лише компенсують втрати енергії сигналу, але і підсилюють його потужність.

Раманівський ОП з прямим накачуванням – енергія накачування та інформаційний сигнал поширюються по ОВ в одному напрямку (рис. 8.7), де FP_i та FP_0 – контрольні точки вхідного та вихідного оптичних сигналів; C – оптичні роз’єми ОП; GMP – контрольна точка вимірювання значення підсилення.

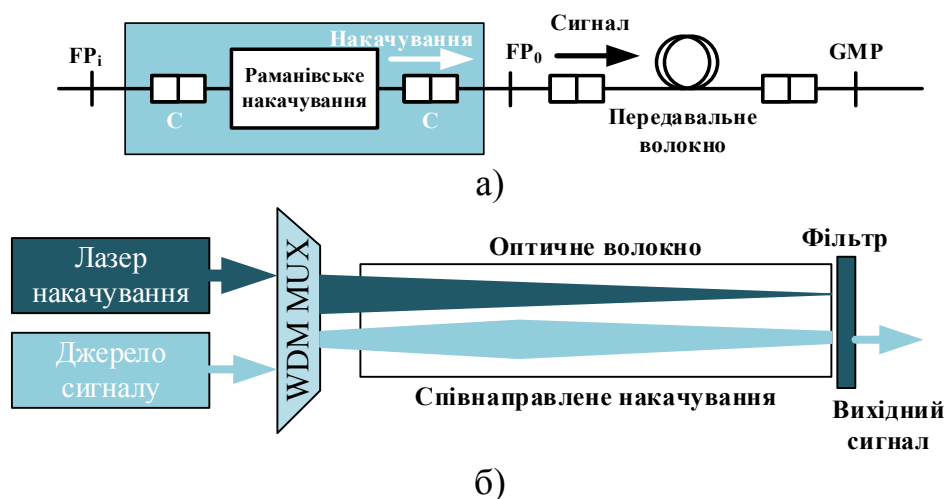


Рисунок 8.7 – Структурна схема раманівського ОП з прямим накачуванням (а) та характеристика розподілення потужностей сигналу та накачування у ВОЛЗ (б)

Раманівський ОП із зустрічним накачуванням – енергія накачування та інформаційного сигналу поширюється по ВОЛЗ в протилежних напрямках (рис. 8.8).

Раманівський ОП з накачуванням в дві сторони – частина енергії накачування поширюється в одному напрямку з інформаційним сигналом, а інша частина – в напрямку, протилежному напрямку поширення інформаційного сигналу по ВОЛЗ (рис. 8.9).

На рисунку 8.10 показано типову схему ВОЛТ з раманівським ОП, де введено позначення: TP – транспондер; MUX – DWDM-мультиплексор; $Booster$ – буферний підсилювач; $Raman$ – розподілений раманівський ОП із зустрічним накачуванням; $Pre-amp$ – попередній низькошумний ОП; $DEMUX$ – DWDM-демультиплексор.

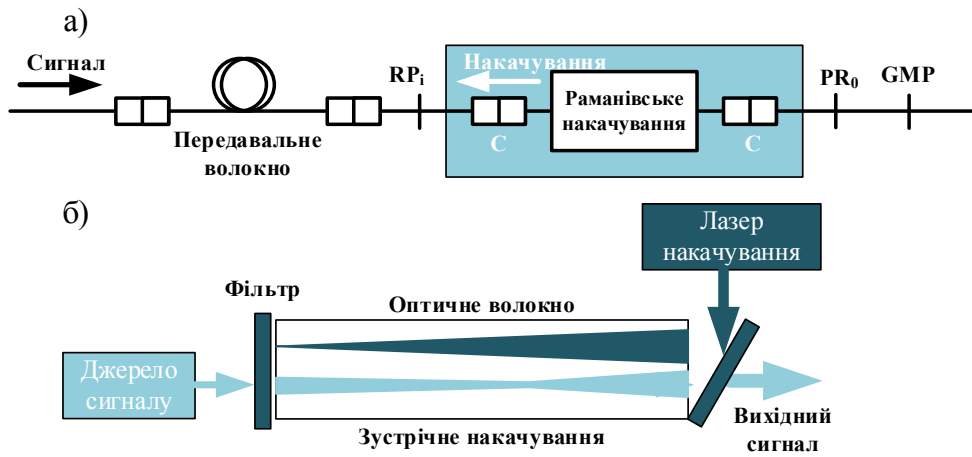


Рисунок 8.8 – Структурна схема раманівського ОП із зустрічним накачуванням (а) та характеристика розподілення потужностей сигналу та накачування у ВОЛЗ (б)

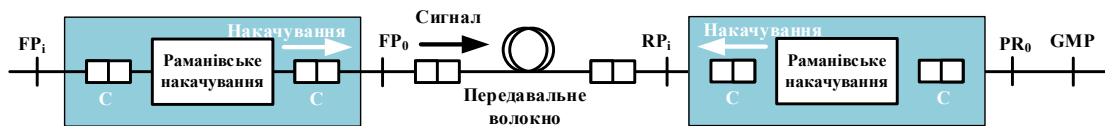


Рисунок 8.9 – Структурна схема раманівського ОП з двостороннім накачуванням потужності оптичних сигналів у ВОЛЗ

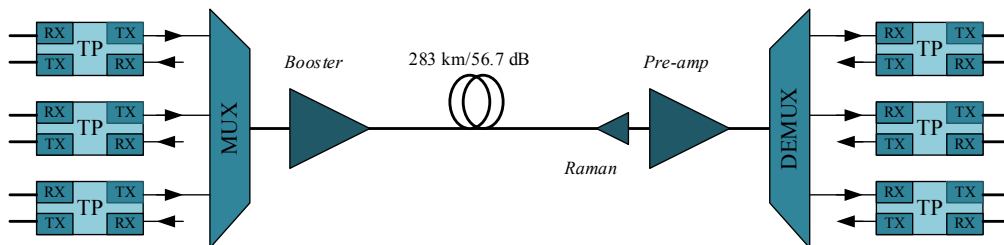


Рисунок 8.10 – Конфігурація узагальненої топології ВОЛТ з раманівським ОП із зустрічним накачуванням

Домашнє завдання

Вивчити теоретичні відомості.

Визначити максимальне значення завадостійкості сигналу на виході трансімпедансного підсилювача, якщо вхідний рівень середньої оптичної потужності, дорівнює -36 дБм; тактова частота інформаційного сигналу відповідає рівню STM-1; робоча довжина хвилі становить 1,56 мкм; квантова ефективність дорівнює 81%. Попередній підсилювач характеризується низьким коефіцієнтом шуму, а ЛФД обрано на основі фосфіду індію. Пояснити результати розрахунків.

Використовуючи технічний опис та інструкцію з використання OptiSystem 15, ознайомитись із призначенням команд програми.

Ознайомитись із процесом конфігурування блоків ВОСП відповідно до порядку виконання лабораторної роботи.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 8.11 наведено структуру лабораторного стенда дослідження ВОСП на базі ПК. **Recommended OptiSystem Setup**

Windows 10™ 64-bit

Intel® Core™ i7 Processor

Tesla/Quadro/GeForce CUDA-enabled NVIDIA GPU

16Gb RAM



Рисунок 8.11 – Структурна схема лабораторного стенда дослідження ВОСП на базі ПК

Порядок виконання роботи

Виконати дослідження залежності коефіцієнта підсилення ЕВП від рівня потужності вхідного оптичного сигналу. Для цього спочатку необхідно скласти схему згідно з проектом, що на рисунку 8.12.

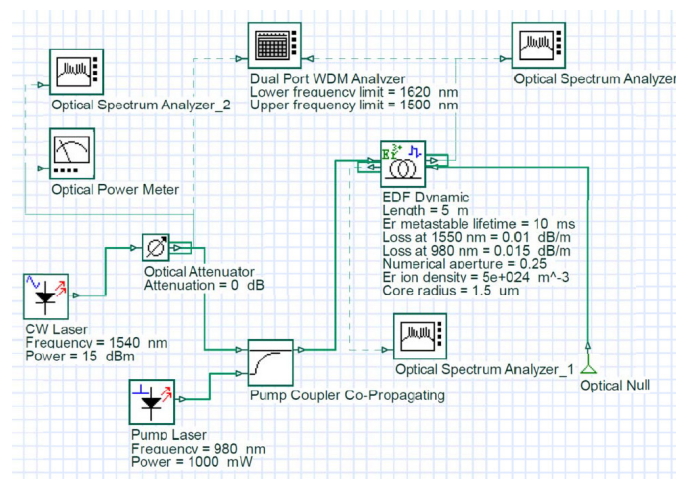


Рисунок 8.12 – Схема для дослідження залежності коефіцієнта підсилення ЕВП від рівня потужності вхідного оптичного сигналу

Задати *Bit rate* – 1 Гбіт/с та загальні для проекту параметри: *Sequence Length* = 128 bits; *Samples per bit* = 64. Виконати налаштування

джерела оптичного сигналу та ОВ з домішками ербію з урахуванням таблиць 8.1 і 8.2.

Таблиця 8.1 – Характеристики ОВ з домішками ербію

| Позначення оптоволоконна | Легований Ер оптичний кабель | Концентрація іонів Ер м ⁻³ | Довжина хвилі, нм | Числово апертура | Діаметр осердя, мкм | Послаблення 980 нм, дБ/м | Послаблення на 1550 нм, дБ/м |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| ОК1 | EDFC-980-HP | $3 \cdot 10^{24}$ | 980 | 0,23 | 3,2 | 0,015 | 0,01 |
| ОК2 | EDFC-1480-HP | $5 \cdot 10^{24}$ | 1480 | 0,25 | 4,5 | 15 | 0,01 |
| ОК3 | EDFC-980-HP-80 | $4 \cdot 10^{24}$ | 980 | 0,25 | 2,8 | 0,015 | 0,01 |
| ОК4 | SM-ESF-7/125 | $10 \cdot 10^{24}$ | 1480 | 0,15 | 7 | 18 | 0,01 |
| ОК4 | SM-ESF-3/125 | $8 \cdot 10^{24}$ | 980 | 0,28 | 3 | 0,015 | 0,01 |

Таблиця 8.2 – Характеристики ОВ з домішками ербію



| <i>M</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P_{pump} , Вт | 0,5 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,5 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,5 |
| λ_0 , нм | 1530 | 1535 | 1540 | 1545 | 1550 | 1555 | 1535 | 1540 | 1545 | 1550 |
| <i>N</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Тип оптоволоконна ЕВП | ОК1 | ОК2 | ОК3 | ОК4 | ОК5 | ОК1 | ОК2 | ОК3 | ОК4 | ОК5 |
| P_{in} , дБп | 10 | 12 | 13 | 15 | 17 | 10 | 12 | 13 | 15 | 17 |
| L_{EOK0} , м | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 |

Примітка. В таблиці введено позначення: *M, N* – відповідно передостання та остання цифри номера залікової книжки; λ_0 – довжина хвилі випромінювання джерела оптичного інформаційного сигналу; P_{pump} – потужність джерела накачування; L_{total} – загальна довжина ВОЛЗ; ЕВП – ЕВП; P_{in} – потужність лазерних діодів у вхідній матриці; L_{EOK0} – довжина ОВ з домішками ербію.

Відкрити налаштування атенюатора та в колонці «*Mode*» вибрати опцію «*sweep*». У вікні «*Parameter sweep*» вказати кількість ітерацій 5 та записати у таблицю змінного параметра послідовний ряд затухань: 0, 8, 16, 24, 30 дБ.

Виконати моделювання та здійснити аналіз результатів моделювання відповідно до таких правил:

а) подвійним кліком мишки відкрити пристрої «*Optical Power Meter*» та «*Dual Port WDM Analyzer*».

б) послідовно перемикаючи кнопками   верхнього меню ітерації виконаних розрахунків, переписати покази приладів «*Optical Power Meter*» та «*Dual Port WDM Analyzer*» в таблицю 8.3.

Таблиця 8.3 – Залежність характеристик ЕВП від рівня вхідної потужності оптичних сигналів

| | | | | | |
|------------------|--|--|--|--|--|
| P_{in} , дБп | | | | | |
| Gain, дБ | | | | | |
| Noise Figure, дБ | | | | | |

За даними таблиці 8.3 побудувати графіки залежностей коефіцієнта підсилення та коефіцієнта шуму від рівня вхідного сигналу ОП.

Виконати дослідження частотної залежності коефіцієнта підсилення ОП від рівня потужності вхідного сигналу. Для цього спочатку необхідно скласти схему згідно з рисунком 8.13.

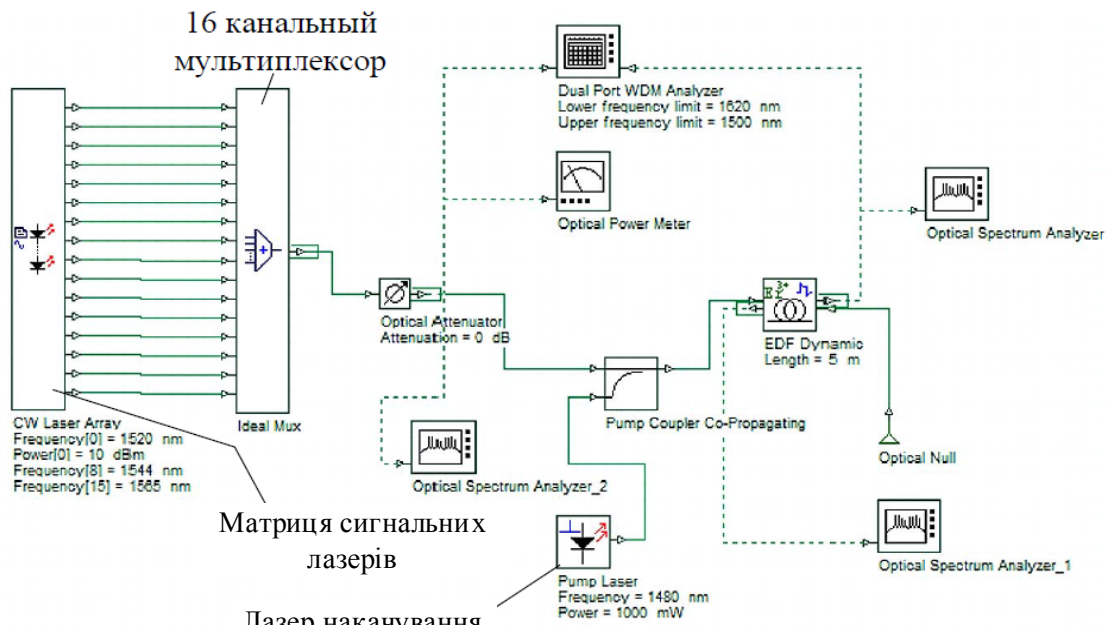


Рисунок 8.13 – Топологія системи для дослідження частотних характеристик ЕВП

В таблиці 8.4 вказано значення сітки частот по робочих каналах для матриці джерел оптичних інформаційних сигналів. Потужності всіх лазерних діодів однакові та дорівнюють значенню P_{in} відповідно до таблиці 8.2.

Виконати моделювання та побудувати графіки частотної залежності коефіцієнта підсилення ЕВП при різних рівнях потужності вхідного групового оптичного сигналу в загальній системі координат. Для цього необхідно виконати такі дії:

- зафіксувати поточне значення згасання в блоці атенюатора, що відповідає поточній ітерації розрахунків;

б) у вікні модуля «Dual Port WDM Analyzer» вибрати «Dual Port WDM Analyzer Viewer» – «2D Graph». Після цього у списку, зліва в групі «Left Display» вибрати опцію «Gain»;

в) у вікні графіка вибрати опцію «Export Data» (синя кнопка у верхньому правому куті). Після цього, за допомогою функції «Export Curve» зберегти файл графіка з назвою, в якій присутнє значення затухання атенюатора, наприклад «Gain_Attenuation_30dB.txt» (якщо для цієї ітерації затухання в атенюаторі становило 30 дБ);

г) у вікні програми «Sweep Iteration» вибрати наступну ітерацію розрахунків та перевірити значення затухання атенюатора. Повторити побудову та збереження графіка відповідно до підпункту в), але зі зміненою назвою, в якій вказати поточне затухання атенюатора;

д) при побудові графіка останньої з 5 ітерацій необхідно налаштувати вигляд графіка цієї ітерації. Для цього необхідно за допомогою опції «Properties», що знаходиться у розділі «Export/Import Data/Curve» вибрати маркер графіка, наприклад – ромб;

е) в меню графіка вибрати опцію «Import Curve» та формат файлу «.txt». Після цього необхідно послідовно імпортувати кожен раніше збережену ітерацію. Необхідно виконувати повторні налаштування відображення відповідно до підпункту д) (вибираючи новий маркер) при вставленні графіка кожної ітерації;

ж) після завершення побудови всіх графіків в одній координатній системі загальний вигляд отриманих залежностей має бути аналогічним графіку, зображеному на рисунку 8.14;

и) враховуючи отримані результати необхідно вибрати такий рівень вхідних сигналів $P_{in,opt} = P_{in} - \Delta_{opt}$ (Δ_{opt} – оптимальне затухання в атенюаторі), при якому отримана частотна характеристика коефіцієнта підсилення, що на рисунку 8.14, була відносно рівномірною в смузі частот дослідження та середній рівень КП становив не менше 20 дБ;

Таблиця 8.4 – Довжини хвиль випромінювання лазерних діодів інформаційної матриці

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| № лазера в матриці | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Довжина хвилі, нм | 1520 | 1523 | 1526 | 1529 | 1532 | 1535 | 1538 | 1541 | 1544 | 1547 |
| № лазера в матриці | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | – | – | – | – |
| Довжина хвилі, нм | 1550 | 1553 | 1555 | 1559 | 1562 | 1565 | – | – | – | – |

Примітка. У випадку, коли графіки на рисунку 8.14 не відповідатимуть умовам підпункту и), тоді необхідно збільшити довжину ербієвого ОВ на 1 – 2 м та повторити етапи моделювання відповідно до підпунктів а) – и). Отримані значення довжини ОВ з домішками ербію необхідно використати як нові значення L_{EOK0} замість вказаних в таблиці 2.

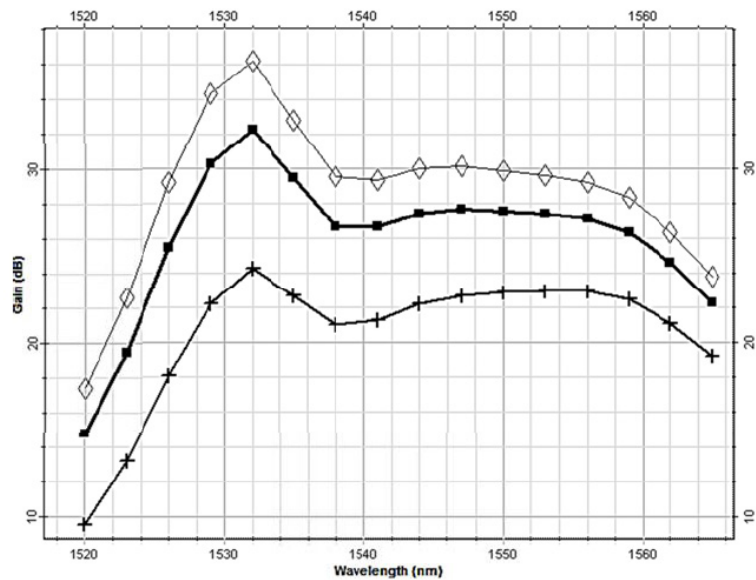


Рисунок 8.14 – Частотні залежності коефіцієнта підсилення ЕВП від рівня потужності вхідних оптичних сигналів

В колонці «*Mode*» налаштувань атенюатора вибрати параметр «*normal*» та задати значення затухання Δ_{opt} що відповідає умові згідно з підпунктом и).

Виконати дослідження частотної залежності коефіцієнта підсилення ЕВП від довжини ербієвого ОВ. Для цього спочатку необхідно встановити для схеми, що на рисунку 8.13, фіксоване значення затухання атенюатора Δ_{opt} . Після цього в параметрах ербієвого ОВ, «*EDF Dynamus*», за допомогою опції «*sweep*», що знаходиться в колонці «*Mode*» та в рядку «*Length*» (довжина) налаштувати таблицю параметрів «*Parameter sweep*» шляхом введення послідовного ряду його значень: $L_{EOK0} - 1$; L_{EOK0} ; $L_{EOK0} + 1$; $L_{EOK0} + 2$; $L_{EOK0} + 3$. При дослідженні динаміки зміни графіків допускається обгрунтоване коригування вказаного ряду значень довжин ербієвого ОВ.

Виконати моделювання згідно з підпунктами а) – и):

а) зафіксувати поточне значення затухання в блоці атенюатора, що відповідає поточній ітерації розрахунків;

б) у вікні модуля «*Dual Port WDM Analyzer*» вибрати «*Dual Port WDM Analyzer Viewer*». Після цього у списку, зліва в групі «*Left Display*» вибрати опцію «*Gain*»;

в) у вікні графіка вибрати опцію «*Export Data*» (синя кнопка у верхньому правому куті). Після цього, за допомогою функції «*Export Curve*» зберегти файл графіка з назвою, в якій присутнє значення затухання атенюатора, наприклад «*Gain_Attenuation_30dB.txt*» (якщо для цієї ітерації затухання в атенюаторі становило 30 дБ);

г) у вікні програми «*Sweep Iteration*» вибрати наступну ітерацію розрахунків та перевірити значення затухання атенюатора. Повторити побудову та збереження графіка згідно з підпунктом в), але зі зміненою назвою, в якій вказати поточне затухання атенюатора;

д) при побудові графіка останньої з 5 ітерацій необхідно налаштувати вигляд графіка цієї ітерації. Для цього необхідно за допомогою опції «*Properties*», що знаходиться у розділі «*Export/Import Data/Curve*» вибрати маркер графіка, наприклад – ромб;

е) в меню графіка вибрати опцію «*Import Curve*» та формат файлу «*.txt*». Після цього необхідно послідовно імпортувати кожну раніше збережену ітерацію. Необхідно виконувати повторні налаштування відображення згідно з підпунктом д) (вибираючи новий маркер) при вставлянні графіка кожної ітерації;

ж) після завершення побудови всіх графіків в одній координатній системі загальний вигляд отриманих залежностей має бути аналогічним графіку, що зображений на рисунку 8.14;

и) враховуючи отримані результати, необхідно вибрати такий рівень вхідних сигналів $P_{in,opt} = P_{in} - \Delta_{opt}$ (Δ_{opt} – оптимальне затухання в атенюаторі), при якому отримана частотна характеристика коефіцієнта підсилення, що на рисунку 8.14, була б відносно рівномірною в смузі частот дослідження та середній рівень КП становив не менше 20 дБ.

Визначити оптимальну довжину ербієвого ОВ $L_{EOK,opt1}$, при якій забезпечується більш рівномірна ЧХ КП в смузі робочих частот та середнє значення КП ЕВП не менше 20 дБ.

Побудувати графік з 5 частотними залежностями КП ЕВП при різних довжинах ербієвого ОВ.

Збільшити потужність джерел оптичних сигналів P_{in} на 3 дБп та виконати моделювання згідно з підпунктами а) – и):

а) зафіксувати поточне значення затухання в блоці атенюатора, що відповідає поточній ітерації розрахунків;

б) у вікні модуля «*Dual Port WDM Analyzer*» вибрати «*Dual Port WDM Analyzer Viewer*» – «*2D Graph*». Після цього у списку, зліва в групі «*Left Display*» вибрати опцію «*Gain*»;

в) у вікні графіка вибрати опцію «*Export Data*» (синя кнопка у верхньому правому куті). Після цього за допомогою функції «*Export Curve*» зберегти файл графіка з назвою, в якій присутнє значення затухання атенюатора, наприклад «*Gain_Attenuation_30dB.txt*» (якщо для цієї ітерації затухання в атенюаторі становило 30 дБ);

г) у вікні програми «*Sweep Iteration*» вибрати наступну ітерацію розрахунків та перевірити значення затухання атенюатора. Повторити побудову та збереження графіка згідно з підпунктом в), але зі зміненою назвою, в якій вказати поточне затухання атенюатора;

д) при побудові графіка останньої з 5 ітерацій необхідно налаштувати вигляд графіка цієї ітерації. Для цього необхідно за допомогою опції «*Properties*», що знаходиться у розділі «*Export/Import Data/Curve*», вибрати маркер графіка, наприклад – ромб;

е) в меню графіка вибрати опцію «*Import Curve*» та формат файлу «*.txt*». Після цього необхідно послідовно імпортувати кожну раніше збережену ітерацію. Необхідно виконувати повторні налаштування відображення згідно з підпунктом д) (вибираючи новий маркер) при вставленні графіка кожної ітерації;

ж) після завершення побудови всіх графіків в одній координатній системі загальний вигляд отриманих залежностей має бути аналогічним графіку, що зображений на рисунку 8.14;

и) враховуючи отримані результати необхідно вибрати такий рівень вхідних сигналів $P_{in,opt} = P_{in} - \Delta_{opt}$ (Δ_{opt} – оптимальне затухання в атенуаторі), при якому отримана частотна характеристика коефіцієнта підсилення, що на рисунку 8.14, була відносно рівномірною в смузі частот дослідження та середній рівень КП становив не менше 20 дБ.

Побудувати графіки та виконати аналіз 5 частотних залежностей КП ЕВП при різних довжинах ербієвого ОВ. Вибрати $L_{EOK,opt2}$.

В налаштуваннях ербієвого ОВ «*EDF Dynamus*», в колонці «*Mode*» вибрати параметр «*normal*» та задати значення довжини – $L_{EOK,opt1}$. Потужність джерел оптичних сигналів встановити відповідно до значень P_{in} з таблиці 8.2.

Виконати дослідження частотної залежності коефіцієнта підсилення ЕВП від рівня потужності накачування. Для цього спочатку для схеми (рис. 8.13) встановити фіксоване значення довжини ербієвого ОВ таким, що дорівнює $L_{EOK,opt1}$ та потужності джерел оптичних сигналів відповідно до значень P_{in} з таблиці 8.2. Після цього в параметрах лазера накачування «*Pump Laser*», в рядку «*Power*» та колонці «*Mode*» вибрати функцію «*sweep*». В опції «*Parameter sweep*» виконати налаштування лазера накачування шляхом введення послідовного ряду значень потужності: $P_{pump} - 100$ мВт; P_{pump} ; $P_{pump} + 100$ мВт; $P_{pump} + 200$ мВт; $P_{pump} + 300$ мВт.

Виконати моделювання відповідно до етапів підпунктів а) – и):

а) зафіксувати поточне значення затухання в блоці атенуатора, що відповідає поточній ітерації розрахунків;

б) у вікні модуля «*Dual Port WDM Analyzer*» вибрати «*Dual Port WDM Analyzer Viewer*» – «*2D Graph*» Після цього у списку, зліва в групі «*Left Display*» вибрати опцію «*Gain*».

в) у вікні графіка вибрати опцію «*Export Data*» (синя кнопка у верхньому правому куті). Після цього, за допомогою функції «*Export Curve*» зберегти файл графіка з назвою, в якій присутнє значення затухання ате-

нюатора, наприклад «Gain_Attenuation_30dB.txt» (якщо для цієї ітерації затування в атенюаторі становило 30 дБ);

г) у вікні програми «Sweep Iteration» вибрати наступну ітерацію розрахунків та перевірити значення затування атенюатора. Повторити побудову та збереження графіка згідно з підпунктом в), але зі зміненою назвою, в якій вказати поточне затування атенюатора;

д) при побудові графіка останньої з 5 ітерацій необхідно налаштувати вигляд графіка цієї ітерації. Для цього необхідно за допомогою опції «Properties», що знаходиться у розділі «Export/Import Data/Curve», вибрати маркер графіка, наприклад – ромб;

е) в меню графіка вибрати опцію «Import Curve» та формат файлу «.txt». Після цього необхідно послідовно імпортувати кожен раніше збережену ітерацію. Необхідно виконувати повторні налаштування відображення згідно з підпунктом д) (вибираючи новий маркер) при вставлянні графіка кожної ітерації;

ж) після завершення побудови всіх графіків в одній координатній системі, загальний вигляд отриманих залежностей має бути аналогічним графіку, що відображений на рисунку 8.14;

и) враховуючи отримані результати необхідно вибрати такий рівень вхідних сигналів $P_{in,opt} = P_{in} - \Delta_{opt}$ (Δ_{opt} – оптимальне затування в атенюаторі), при якому отримана частотна характеристика коефіцієнта підсилення, що на рисунку 8.14, була б відносно рівномірною в смузі частот дослідження та середній рівень КП становив не менше 20 дБ.

Визначити оптимальну потужність накачування $P_{pump,opt1}$, при якій забезпечується досить рівномірний в смузі робочих частот КП ЕВП зі значенням не менше 20 дБ.

Побудувати графік з 5 частотними залежностями КП ЕВП при різних P_{pump} .

Встановити довжину ербієвого ОВ – $L_{EOK,opt2}$ та потужності джерел інформаційних оптичних сигналів такими, що дорівнюють $P_{in} + 3$ дБп. Виконати моделювання відповідно до етапів підпунктів а) – и):

а) зафіксувати поточне значення затування в блоці атенюатора, що відповідає поточній ітерації розрахунків;

б) у вікні модуля «Dual Port WDM Analyzer» вибрати «Dual Port WDM Analyzer Viewer» – «2D Graph» Після цього у списку, зліва в групі «Left Display» вибрати опцію «Gain»;

в) у вікні графіка вибрати опцію «Export Data» (синя кнопка у верхньому правому куті). Після цього за допомогою функції «Export Curve» зберегти файл графіка з назвою, в якій присутнє значення затування атенюатора, наприклад «Gain_Attenuation_30dB.txt» (якщо для цієї ітерації затування в атенюаторі становило 30 дБ);

г) у вікні програми «*Sweep Iteration*» вибрати наступну ітерацію розрахунків та перевірити значення затухання атенюатора. Повторити побудову та збереження графіка згідно з підпунктом в), але зі зміненою назвою, в якій вказати поточне затухання атенюатора;

д) при побудові графіка останньої з 5 ітерацій необхідно налаштувати вигляд графіка цієї ітерації. Для цього необхідно за допомогою опції «*Properties*», що знаходиться у розділі «*Export/Import Data/Curve*» вибрати маркер графіка, наприклад – ромб;

е) в меню графіка вибрати опцію «*Import Curve*» та формат файлу «*.txt*». Після цього необхідно послідовно імпортувати кожен раніше збережену ітерацію. Необхідно виконувати повторні налаштування відображення згідно з підпунктом д) (вибираючи новий маркер) при вставленні графіка кожної ітерації;

ж) після завершення побудови всіх графіків в одній координатній системі, загальний вигляд отриманих залежностей має бути аналогічним графіку, що зображений на рисунку 8.14;

и) враховуючи отримані результати необхідно вибрати такий рівень вхідних сигналів $P_{in,opt} = P_{in} - \Delta_{opt}$ (Δ_{opt} – оптимальне затухання в атенюаторі), при якому отримана частотна характеристика коефіцієнта підсилення, що на рисунку 8.14, була відносно рівномірною в смузі частот дослідження та середній рівень КП становив не менше 20 дБ.

Визначити оптимальну потужність накачування $P_{pump,opt2}$, при якій забезпечується досить рівномірний в смузі робочих частот КП ЕВП зі значенням не менше 20 дБ.

Побудувати графік з 5 частотними залежностями КП ЕВП при різних P_{pump} .

Виконати дослідження характеристик раманівського ОП. Для цього спочатку необхідно скласти схему згідно з проектом, що на рисунку 8.15.

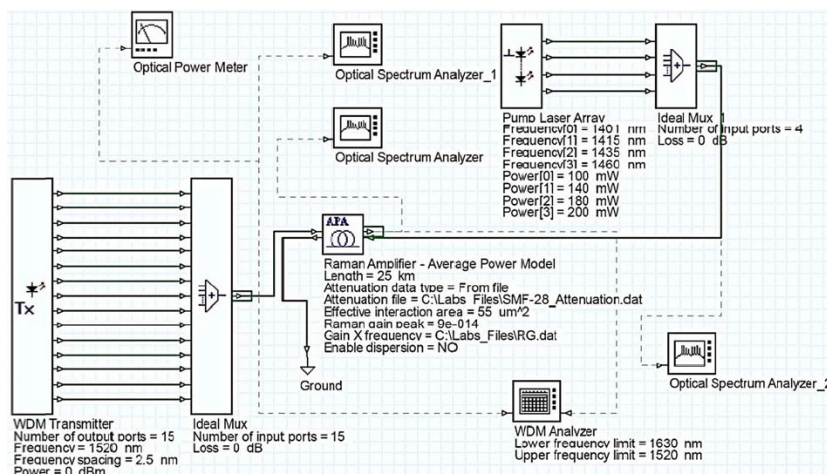


Рисунок 8.15 – Схема вимірювального тракту для дослідження характеристик раманівського ОП

Встановити значення *Bit rate* з урахуванням даних таблиці 8.5 та загальні параметри проекту: *Sequence length*=16 bits; *Samples per bit* = 16.

Таблиця 8.5 – Вихідні дані для цифрового тракту з дослідження раманівського ОП

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| <i>Bit rate</i> Гбіт/с | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| N_{laser} | 15 | 18 | 16 | 15 | 12 | 14 | 10 | 15 | 11 | 14 |
| λ_{min} , нм | 1530 | 1532 | 1534 | 1536 | 1538 | 1530 | 1532 | 1530 | 1533 | 1536 |
| $\Delta\lambda$, нм | 2,4 | 1,6 | 2,4 | 1,6 | 3,2 | 1,6 | 3,2 | 2,4 | 3,2 | 2,4 |
| <i>RIN</i> , дБ/Гц | -140 | -130 | -150 | -160 | -130 | -140 | -130 | -160 | -150 | -140 |
| L , км | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| P_0 , дБп, | -5 | | | | | | | | | |

Примітка. В таблиці використані такі позначення: N – остання цифра номера залікової книжки; *Bit rate* – швидкість передавання бітів цифрового сигналу; N_{laser} – кількість джерел оптичних сигналів в передавальному оптичному модулі; λ_{min} – мінімальна робоча довжина хвилі оптичних сигналів на вході оптичного мультиплексора; $\Delta\lambda$ – крок сітки оптичних носійних для вхідних оптичних сигналів оптичного мультиплексора; P_0 – потужність оптичного випромінювання на виходах передавача з багатохвильним ущільненням (*WDM Transmitter*); *RIN* – відносний шум інтенсивності лазерних джерел оптичних сигналів; L – довжина раманівського ОП.

Налаштувати багатоканальний передавальний оптичний модуль (*WDM Transmitter*) згідно з таблицею 8.5, зокрема:

- кількість виходів N_{laser} (*Number of output ports*);
- мінімальну робочу довжину хвилі λ_{min} (опція *Frequency*);
- інтервал між носійними $\Delta\lambda$ (*Frequency spacing*);
- потужність P_0 оптичних сигналів на виходах передавального оптичного модуля (*WDM Transmitter*);
- відносний шум інтенсивності лазерних джерел оптичних сигналів *RIN*.

Виконати налаштування ідеальної моделі мультиплексора. Для цього задати кількість вхідних портів рівним N_{laser} та значення внесених втрат – 0 дБ.

Виконати налаштування раманівського ОП, зокрема:

- задати довжину раманівського ОП відповідно до даних таблиці 8.5;
- задати параметр «*Raman Gain Peak*» – «9e-014»;
- задати параметр «*Effective interaction area*» – 0,55 мкм²;
- в рядку «*Attenuation data type*» необхідно вибрати «*From file*»;
- встановити «*Upper pump reference*» рівною 1450 нм;
- в рядку «*Enable dispersion*» зняти «галочку».

Виконати налаштування модуля лазерів накачування (*Pump Laser Array*). Для цього в налаштуваннях задати 4 вихідних порти та значення довжин хвиль і потужності накачування відповідно до даних таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Вихідні дані для цифрового тракту з дослідження раманівського ОП

| № лазера накачки | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|------|------|------|------|
| λ , нм | 1405 | 1415 | 1435 | 1460 |
| P , мВт | 110 | 140 | 180 | 200 |

Примітки. В таблиці використано такі позначення: λ – довжина хвилі лазера накачування; P – потужність оптичного випромінювання на виході лазера накачування.

Виконати налаштування мультиплексора лазерів накачування. Для цього необхідно задати кількість виходів – 4 та внесені втрати – 0 дБ.

В розділі «*Component Properties*» модуля «*WDM Analyzer*» встановити верхню граничну частоту (*upper frequency limit*) відповідно до виразу

$$\lambda = \lambda_{\min} - 5, \text{ нм.}$$

В рядку «*lower frequency limit*» задати

$$\lambda = \lambda_{\min} + \Delta\lambda(N_{\text{laser}} - 1) + 5, \text{ нм.}$$

Виконати розрахунок. Отримана частотна характеристика підсилення потребує оптимізації за критерієм мінімального перепаду підсилення в робочому діапазоні оптичних сигналів.

В розділі «*Component View*» меню «*WDM Analyzer*» вибрати вкладку «*2D Graphs*», в якій за допомогою опції «*Left Display*» встановити «галочку» напроти параметра «*Gain*». Збереження отриманого графіка частотної залежності коефіцієнта підсилення необхідно виконати у такій послідовності:

- у вікні графіка вибрати опцію «*Export Data*»;
- у новому вікні натиснути на кнопку «*Export Curve*» та зберегти файл графіка з назвою, наприклад «**RamanAmpl_L_km.txt**».

За допомогою функції «*Print to Bmp File*» зберегти спектрограми вимірювальних приладів.

Виконати оптимізацію частотної характеристики підсилення ОП. Для цього спочатку необхідно виконати налаштування параметрів оптимізації. У вікні моделювання «*Calculate*» відкрити підменю оптимізації (*Optimizations*). Подвійним кліком мишки у вікні «*Installed Optimization*» відк-

рити опцію «*MPO Optimization*». Встановити «*Maximum number of passes*» таким, що дорівнює 50. Відкрити вкладку «*Parameters*». Відкрити в групі параметрів «*Layout*» параметри модуля «*Pump*» та із переліку параметрів перенести (кнопкою «*add*» або подвійним кліком мишки) частоти *Frequency*[0] – *Frequency*[3] у праве вікно («*Selected*»), а також перенести в цю групу оптимізованих параметрів потужності лазерів накачування *Power*[0] – *Power* [3].

Для кожного з цих параметрів задати діапазон значень відповідно до даних таблиці 8.7.

Таблиця 8.7 – Діапазон значень оптимізованих параметрів лазерів накачування раманівського ОП

| Параметр | Мінімум | Максимум | Початкове значення |
|----------------------|---------|----------|--------------------|
| <i>Frequency</i> [0] | 1401 | 1410 | 1405 |
| <i>Frequency</i> [1] | 1411 | 1425 | 1415 |
| <i>Frequency</i> [2] | 1428 | 1440 | 1435 |
| <i>Frequency</i> [3] | 1450 | 1470 | 1460 |
| <i>Power</i> [0] | 100 | 300 | 110 |
| <i>Power</i> [1] | 100 | 300 | 140 |
| <i>Power</i> [2] | 100 | 300 | 180 |
| <i>Power</i> [3] | 100 | 300 | 200 |

Перейти на вкладку «*Results*» Відкрити в групі параметрів «*Layout*» параметри модуля «*WDM Analyzer*» та із переліку параметрів перенести (кнопкою «*add*» або подвійним кліком мишки) параметр «*Ratio Max/Min Gain*» у праве вікно («*Selected*»), а також перенести в цю групу всі параметри *Gain* (наприклад, *Gain* 1 – *Gain* 10).

Для «*Ratio Max/Min Gain*» задати «*Target Value*»=1 та «*Tolerance*»=0,1. Зберегти всі параметри налаштувань вікна оптимізації за допомогою кнопки «ОК». Після цього у вікні виконання розрахунків необхідно встановити «галочку» в рядку «*Run all optimizations*» та запустити процес оптимізації, який може зайняти деякий час (5 – 15 хвилин, залежно від продуктивності комп'ютера).

Виконати побудову графіків частотної залежності коефіцієнта підсилення до та після оптимізації лазерів накачування ОП. Для цього, спочатку необхідно у вікні графіків пристрою «*WDM Analyzer*» відтворити розраховану характеристику підсилення (меню «*Component View*»/ «*2D Graphs*»/ «*Left Display*»/ «*Gain*»). Для збереження отриманого графіка частотної залежності коефіцієнта підсилення необхідно виконати такі операції: у вікні графіка вибрати меню «*Export Data*» та виконати команду «*Export Curve*»,

після чого зберегти файл графіка з назвою, наприклад «**RamanAmpl_Optim_L_km.txt**».

Не закриваючи вікна графіка оптимізованої частотної залежності коефіцієнта підсилення, відкрити меню вікна графіка і натиснути кнопку «*Import Curve*» встановивши розширення файлів «.txt», вибрати файл «**RamanAmpl_L_km.txt**» та відкрити його. Відкрити меню вікна графіка та запустити опцію «*Properties*». Після цього вибрати вкладку «*Curve*» та для графіка оптимізованої характеристики підсилення вибрати параметр «*Line thickness*» – 3 і параметр «*Point Style*» – «*Circle*» та натиснути клавішу «OK». За допомогою команди «*Print to Bmp File*» зберегти отримані графіки. Також необхідно зберегти спектрограми вимірювальних приладів на виході блока лазерів накачування та на виході підсилювача з оптимізованими параметрами лазерів накачування.

Виконати побудову графіка частотних залежностей коефіцієнта підсилення при різних довжинах ОВ для ОП з оптимізованими параметрами лазерів накачування. Для цього спочатку необхідно задати довжину ОВ раманівського ОП – $L_1 = L - 5$ км та при цьому оптимізовані параметри лазерів накачування залишити незмінними. Відкрити вікно моделювання та зняти «галочку» з опції «***Run all optimization***». Після цього виконати моделювання та зберегти результати моделювання з назвою файлу, наприклад «**RamanAmpl_L1_km.txt**».

Встановити довжину ОВ раманівського ОП – $L_2 = L + 5$ км. При цьому оптимізовані параметри лазерів накачування залишити незмінними та виконати моделювання.

Відкрити вікно графіків приладу «*WDM Analyzer*» та відтворити розраховану характеристику підсилення (меню «*Component View*»/ «*2D Graphs*»/ «*Left Display*»/ «*Gain*»). Додати до отриманого результату графіки з файлів «**RamanAmpl_Optim_L_km.txt**» і «**RamanAmpl_L1_km.txt**».

Використовуючи інструмент коригування графіків (меню «*Properties*» / «*Curve*») виконати маркування колами графік для ОВ довжиною L км «*Point Style*» – «*Circle*», а для ОВ довжиною L_1 км – квадратами («*Point Style*» – «*Square*») Натиснути «OK» та зберегти отримані характеристики за допомогою команди («*Print to Bmp File*»).

Виконати побудову графіка частотних залежностей коефіцієнта підсилення при різних значеннях потужності випромінювання лазерів оптичних сигналів для ОП з оптимізованими параметрами лазерів накачування. Для цього спочатку необхідно встановити довжину ОВ раманівського ОП такою, що дорівнює L км та залишити незмінними оптимізовані параметри лазерів накачування. Після цього в блоці «*WDM Transmitter*» задати значення рівня потужності оптичних сигналів – 10 дБм.

Виконати моделювання та зберегти отриману характеристику підсилення у файл «**RamanAmpl_L_km_minus10dBm.txt**».

Встановити в блоці «*WDM Transmitter*» значення потужності оптичних сигналів на рівні 0 дБм та виконати моделювання. Відкрити вікно графіків приладу «*WDM Analyzer*» та відтворити розраховану характеристику підсилення.

Імпортувати графіки із файлів:

«**RamanAmpl_L_km_minus10dBm.txt**» (маркувати квадратами);

«**RamanAmpl_Optim_L_km.txt**» (маркувати колами).

Зберегти отримані характеристики за допомогою команди («*Print to Bmp File*»).

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми комп'ютерних моделей для дослідження характеристик ербієвого та раманівського оптичних підсилювачів у ВОСП за допомогою програми OptiSystem 15 згідно з рис. 8.12, 8.13 та 8.15, часові осцилограми та спектри сигналів, залежність характеристик ЕВП від рівня вхідної потужності оптичних сигналів згідно з табл. 8.3, частотні залежності коефіцієнта підсилення ЕВП від рівня потужності вхідних оптичних сигналів згідно з рис. 8.14, а також висновки щодо особливостей будови, налаштування і моделювання основних характеристик ербієвого та раманівського оптичних підсилювачів у ВОСП.

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії ербієвого волоконного підсилювача.
2. Опишіть структурну схему ербієвого ВОП.
3. Вкажіть способи накачування ЕВП.
4. Порівняйте прямий та зворотний способи накачування ЕВП.
5. Вкажіть варіанти використання ЕВП у ВОЛТ.
6. Порівняйте спектри підсилення ербієвих ОВ з різними легувальними домішками.
7. Поясніть залежність коефіцієнта підсилення та коефіцієнта шуму ЕВП від рівня потужності вхідного сигналу при фіксованій довжині ербієвого ОВ.
8. Вкажіть значення смуг пропускання ЕВП та методи їх збільшення.
9. Вкажіть правила вибору коефіцієнта підсилення ЕВП для широкомугового каналу DWDM системи.
10. Поясніть принцип функціонування раманівського ОП.
11. Наведіть приклад узагальненої структурної схеми ВОСП з раманівським ОП з прямим накачуванням.
12. Порівняйте характеристики раманівського підсилювача із зустрічним та двостороннім накачуванням.

13. Порівняйте характеристики раманівського підсилювача з прямим та зустрічним накачуванням.
14. Вкажіть основні переваги раманівського ОП.
15. Поясніть, за рахунок чого досягається рівномірність характеристики підсилення в раманівському ОП в широкій смузі частот.
16. Поясніть необхідність виконання оптимізації характеристик лазерів накачування широкосмугового раманівського ОП.
17. Проаналізуйте результати моделювання частотної характеристики підсилення до та після оптимізації.
18. Проаналізуйте спектрограми сигналів, що отримані в лабораторній роботі до та після оптимізації.
19. Проаналізуйте результати моделювання частотної характеристики підсилення при різних довжинах ОБ.
20. Проаналізуйте результати моделювання частотної характеристики підсилення при різних потужностях джерел оптичних сигналів.
21. Поясніть, чому раманівські ОП часто називають «розподіленими» підсилювачами.
22. Поясніть принцип роботи двокаскадного раманівського підсилювача із зустрічним накачуванням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортник Г. Г. Системи доступу : підручник для вузів / Бортник Г. Г., Кичак В. М., Стальченко О. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 308 с.
2. Телекомунікаційні системи передавання : [навчальний посібник] / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, Н. О. Пунченко, О. В. Стальченко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 145 с.
3. Фокин В. Г. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи : учебное пособие / Фокин В. Г. – Новосибирск : СибГУТИ, 2016.
4. Дрючин О. О. Оптичні транспортні мережі. Сихронна цифрова ієрархія : навчальний посібник / Дрючин О. О. – Вінниця : ВНТУ, 2017.
5. Гордиенко В. Н. Оптические телекоммуникационные системы : учебник для вузов / Гордиенко В. Н., Крухмалев В. В., Моченов А. Д. ; под ред. В. Н. Гордиенко. – М. : Телеком, 2011. – 368 с.
6. Фокин В. Г. Когерентные оптические сети : учебное пособие / Фокин В. Г. – Новосибирск : СибГУТИ, 2015.
7. Зингеренко Ю. А. Оптические цифровые телекоммуникационные системы и сети синхронной цифровой иерархии : учебное пособие / Зингеренко Ю. А. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – 393 с.
8. Xiang Zhou Chongjin Xie Enabling Technologies for High Spectral-Efficiency Coherent Optical Communication Networks - Wiley, 2016.
9. Бортник Г. Г. Транспортні телекомунікаційні технології / Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2017.
10. Herbert Venghaus, Norbert Grote Fibre Optic Communication - Springer Series in Optical Sciences, 2017.
11. Фокин В. Г. Оптические мультиплексоры OADM/ROADM и коммутаторы РХС в мультисервисной транспортной сети : учебное пособие / Фокин В. Г. – Новосибирск : СибГУТИ, 2011.
12. Соломенчук В. Д. Оптические транспортные сети / Соломенчук В. Д., Мищенко В. А., Гура К. Н. – К. : ЦПО, 2014. – 294 с.
13. Le Nguyen Binh Advanced Digital Optical Communications. – European Research Center, Huawei Technologies, Munich, Germany, CRC Press London New York, 2015.
14. Shiva Kumar and M. Jamal Deen Fiber Optic Communications Fundamentals and Applications - Department of Electrical and Computer Engineering, McMaster University, Canada, 2014.
15. Цуканов В. Н. Волоконно-оптическая техника : практическое руководство / В. Н. Цуканов, М. Я. Яковлев. – М. : Инфа-Инженерия, 2014. – 304 с.

Додаток А

Зразок титульного листа до звіту з лабораторної роботи

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

ЗВІТ

до лабораторної роботи № 1

«Дослідження роботи оптичного мультиплексора FOM-16»
з дисципліни «Оптичні транспортні системи та мережі»

Прийняв

Доцент кафедри ТКСТБ _____ М. В. Васильківський

Захистили

Студенти групи ТКС-18м _____ С. О. Кирилюк

_____ О. Ю. Козюк

2019

Навчальне видання

**Бортник Геннадій Григорович
Васильківський Микола Володимирович
Кичак Василь Мартинович**

**ТРАНСПОРТНІ
ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ
СИСТЕМИ**

Лабораторний практикум

Рукопис оформлено *М. Васильківським*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет виготовлено *О. Ткачуком*

Підписано до друку 19.06.2019.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 8,34.
Наклад 50 (1-й запуск 1–21) пр. Зам. № 2019-092.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.