

60
5
621,39
Б 83

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

НАПРЯМНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

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

НАПРЯМНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Вінниця
ВНТУ
2021

УДК 621.391(075)

Б21

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 2 від 24.09.2020 р.)

Рецензенти:

В. Г. Крижановський, доктор технічних наук, професор

В. А. Лужецький, доктор технічних наук, професор

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

Бортник, Г. Г.

Б21 Напрявні телекомунікаційні системи : лабораторний практикум / Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 104 с.

ISBN 978-966-641-867-1

У лабораторному практикумі наведено основні принципи побудови та використання напрямних телекомунікаційних систем з урахуванням сучасних технологій мультиплексування та обладнання оптичних транспортних мереж. Детально розглянуто методики дослідження електричних параметрів та пошук пошкоджень в напрямних системах електричного зв'язку за допомогою аналізаторів кабельних ліній. Практикум призначений для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка».

УДК 621.391(075)

ISBN 978-966-641-867-1

©ВНТУ, 2021

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	4
Передмова	5
Основні вимоги до виконання лабораторних робіт та до оформлення звіту	7
Лабораторна робота № 1 Дослідження електричних параметрів та пошук пошкоджень в напрямних системах електричного зв'язку за допомогою аналізатора кабельних ліній RD 6000 DSL	10
Лабораторна робота № 2 Дослідження вторинних параметрів напрямних систем електричного зв'язку за допомогою цифрового аналізатора кабельних ліній АТК-01	39
Лабораторна робота № 3 Дослідження параметрів напрямних систем оптичного зв'язку та характеристик оптичного волокна.....	57
Лабораторна робота № 4 Дослідження параметрів ВОЛТ рефлектометричним методом і методики монтажу станційних ВОК та кінцевого обладнання.....	73
Лабораторна робота № 5 Дослідження основних характеристик цифрових ліній передавання за допомогою програми xDSLcalc.....	93
Список літератури	102
Додаток А Зразок титульного аркуша до звіту з лабораторної роботи.....	103

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АБГШ** – адитивний білий гаусовий шум
АТК – аналізатор телекомунікаційних кабелів
АЦП – аналого-цифровий перетворювач
АЧХ – амплітудно-частотна характеристика
БОС – блок опрацювання сигналів
ВОК – волоконно-оптичний кабель
ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку
ВОЛП – волоконно-оптична лінія передавання
ВОЛТ – волоконно-оптичний лінійний тракт
ВОСП – волоконно-оптична система передавання
ДДВ – динамічний діапазон вимірювання
ІКМ – імпульсно-кодова модуляція
ІЧ – інфрачервоне поглинання
ІЧХ – імпульсно-частотна характеристика
ЛАЦ – лінійно-апаратний цех
ЛКП – лінійне кодування з передбаченням
МЗР – метод зворотного розсіювання
НРП – необслуговуваний регенераційний пункт
ОВ – оптичне волокно
ОК – оптичний кабель
ОСП – оптична система передавання
ОР – оптичний рефлектометр
ООВ – одномодове оптичне волокно
ПК – персональний комп'ютер
ПМ – поглинання в матеріалі
ПРОМ – оптоелектронний приймальний модуль
ПСП – псевдовипадкова послідовність
РР – розсіювання Релея
САПР – система автоматизованого проектування
СВН – схема відновлення носійної
ОВСЩД – оптимальне відношення спектра шуму
на декодері приймача
СВТЧ – схема відновлення тактової частоти
ТКС – телекомунікаційна система
ЦЛЗ – цифрова лінія зв'язку
ЦЛТ – цифровий лінійний тракт
ЦЛРТ – цифровий лінійний радіотракт
ЦСП – цифрова система передавання
ШКЛ – штучна кабельна лінія
ШЛ – штучна лінія

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Напрявні системи електричного та оптичного зв'язку» відноситься до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки студентів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Вона вивчається в п'ятому семестрі, тобто після викладання базових дисциплін професійної підготовки.

Основною метою дисципліни є формування основних знань та положень з принципів функціонування і використання напрямних систем електричного та оптичного зв'язку: сформувати теоретичну базу, практичні навички та уявлення про основи побудови ліній зв'язку; ознайомитись з конструкцією оптичних, симетричних та коаксіальних кабелів зв'язку, кінцевих пристроїв і кабельних муфт; ознайомитись з основними методами та засобами захисту напрямних систем, особливостями проектування; ознайомитись з принципами будівництва та монтажу нових ліній зв'язку, особливостями технічного обслуговування і вимірювання існуючих ліній зв'язку.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні знати матеріал програми курсу «Напрявні системи електричного та оптичного зв'язку», принципи функціонування напрямних систем та побудови кабельних ліній зв'язку; методи та засоби вимірювання ліній зв'язку; галузеві стандарти та нормативну базу.

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. Основи побудови та використання напрямних систем передачі.

Тема 1. Класифікація напрямних систем та ліній зв'язку.

Тема 2. Математичні основи розрахунку електричних параметрів напрямних систем зв'язку.

Тема 3. Особливості визначення параметрів хвилеводних напрямних систем.

Тема 4. Кабельні лінії електричного зв'язку.

Тема 5. Коаксіальні напрямні системи електрозв'язку.

Тема 6. Електромагнітна сумісність напрямних систем електричного зв'язку.

Тема 7. Кабельні лінії оптичного зв'язку.

Змістовий модуль 2. Будова та функціонування напрямних систем оптичного зв'язку.

Тема 8. Будова волоконно-оптичних кабелів.

Тема 9. Визначення первинних параметрів ОВ та ВОК.

Тема 10. Енергетичні та частотні характеристики оптичних ліній зв'язку.

Тема 11. Розрахунок довжини елементарної кабельної ділянки ВОЛТ.

Тема 12. Особливості монтажу ВОК при будівництві ВОЛТ.

Тема 13. Когерентні ВОЛЗ та підвищення ефективності ВОЛТ.

Тема 14. Комп'ютерне моделювання частотних та енергетичних характеристик напрямної системи.

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 необхідний ступінь теоретичної підготовки.

Захист проводиться на основі звітів до лабораторних робіт в обсязі, зазначеному в лабораторному практикумі та оформлених згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015. 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

$$C_{\mu} = F \log_2(1+S/N), \quad (1)$$

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 самого параметра в межах документа має 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, креслениками, 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) або (рис. 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. таблицю 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, інакше кажучи, 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 електричних параметрів та пошук пошкоджень в напрямних системах електричного зв'язку за допомогою аналізатора кабельних ліній RD 6000 DSL.

Мета роботи: виконати дослідження електричних параметрів кабельних ліній зв'язку за допомогою багатофункціонального аналізатора та виконати пошук пошкоджень в симетричних кабельних лініях електричного зв'язку.

- Обладнання:**
1. Зразки кабелів зв'язку;
 2. Багатофункціональний цифровий аналізатор кабельних ліній електричного зв'язку RD 6000 DSL;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Електричні вимірювання ліній передавання виконуються для визначення відповідності електричних характеристик встановленим нормам, а також для визначення характеру та місця пошкодження на лінії передавання. Електричні вимірювання ліній передавання виконуються за постійним та змінним струмом. Вимірювання за змінним струмом виконуються після вимірювань за постійного струму лише у випадку, коли дані вимірювання за постійного струму відповідають нормам при несправній лінії передавання. Також вимірювання за змінним струмом необхідно виконувати після усунення несправності лінії передавання.

Вимірювання за постійним струмом дозволяють зробити висновок щодо відповідності встановленим нормам характеристик ліній передавання: електричного опору ізоляції; електричного опору кола (шлейфу); омичної асиметрії; електричної ємності кола. Зокрема, вимірювання за постійним струмом широко використовують для визначення найбільш поширеної несправності – пошкодження ізоляції кабелю електрозв'язку. Для вимірювання кабельних кіл за постійним струмом набули широкого практичного використання спеціалізовані переносні аналізатори кабельних ліній, зокрема RD 6000 DSL.

Електричні вимірювання за постійним струмом доцільно виконувати в такій послідовності: омична асиметрія, електричний опір шлейфу, електричний опір ізоляції, електрична ємність кола.

Однією з найважливіших умов надійного передавання інформаційних сигналів кабельними лініями великої довжини є висока заводо захищеність кіл ліній. Якість та дальність зв'язку зумовлюються не лише власним за-

туханням в провідниках, а також взаємними впливами між сусідніми провідниками кабельної лінії. Причиною взаємних впливів є електромагнітні поля, що виникають навколо кола при передаванні ними електромагнітних хвиль. Для зменшення впливу поміж колами кабельної лінії потрібно вживати спеціальних заходів. Симетрування кабельних магістралей виконуться на підсилювальних ділянках цифрової лінії передавання.

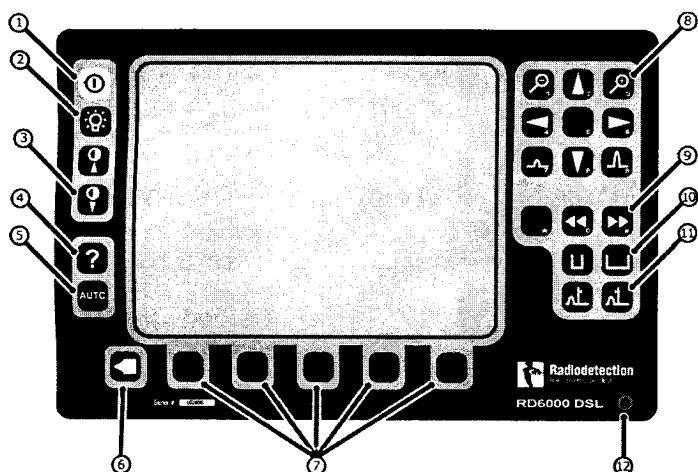


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд багатфункціонального приладу для тестування кабелю RD6000 DSL

- 1 – Включення/виключення аналізатора RD 6000;
- 2 – Включення/виключення підсвічування дисплею пристрою для покращення відображення інформації;
- 3 – Регулювання контрастності зображення на дисплеї пристрою;
- 4 – Виведення на дисплей інтерактивного меню користувача аналізатора;
- 5 – Запуск автоматичного діагностування параметрів та визначення місця пошкодження лінії передавання (автотест);
- 6 – Зупинка тестування або перехід між підменю програми роботи пристрою;
- 7 – Функціональні клавіші для керування режимами роботи аналізатора;
- 8 – Регулювання вигляду рефлектограми досліджуваної лінії передавання (підстроювання відображення форми тестового сигналу);

- 9 – Включення режиму порівняння вимірної та записаної форм тестового сигналу при використанні режиму TDR;
- 10 – Регулювання масштабу відображення тестового сигналу при використанні режиму TDR (ширина та розмір тестового імпульса по вертикалі автоматично підлаштовується до змін масштабу);
- 11 – Регулювання позиції курсора на екрані аналізатора при використанні режиму TDR;
- 12 – Індикатор підключення до аналізатора зовнішнього електроживлення.

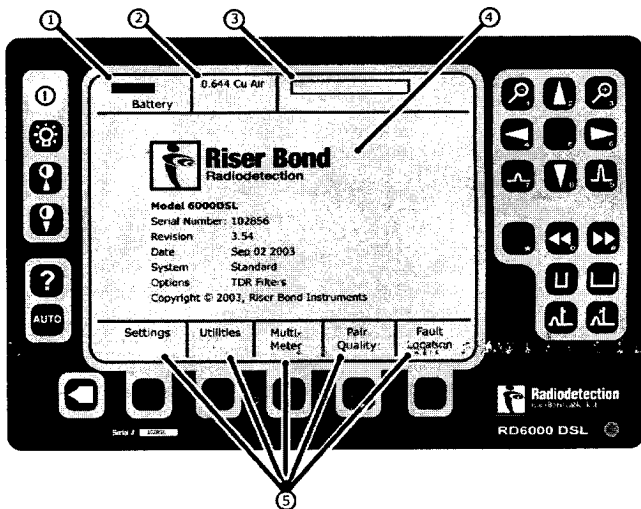


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд інтерфейсу користувача багатофункціонального приладу для тестування кабелю RD6000 DSL

- 1 – Стан заряду внутрішнього акумуляторного джерела живлення;
- 2 – Відображення обраного типу кабелю для тестування;
- 3 – Відображення поточного процесу тестування кабельної лінії передавання;
- 4 – Робоча частина екрана пристрою для відображення результатів тестування ліній передавання;
- 5 – Меню функціональних клавiш.

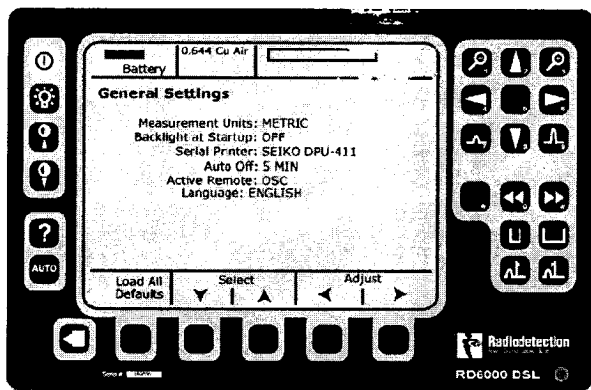


Рисунок 1.3 – Меню загальних налаштувань приладу для тестування кабелю RD6000 DSL

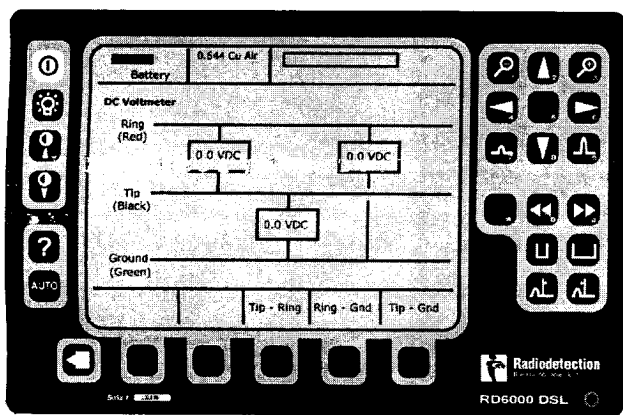


Рисунок 1.4 – Меню режиму визначення первинних параметрів кабелю в RD6000 DSL

Після виконання стандартної процедури встановлення з'єднання з приладом RD6000 DSL, на екрані ПК виводиться основне меню термінальної програми WaveView, загальний вигляд якого показано на рис. 1.5.

В таблиці 1.1 показано рекомендовані режими роботи цифрового аналізатора при тестуванні параметрів кабельних ліній передавання, а також для оптимального пошуку точки пошкодження лінії.

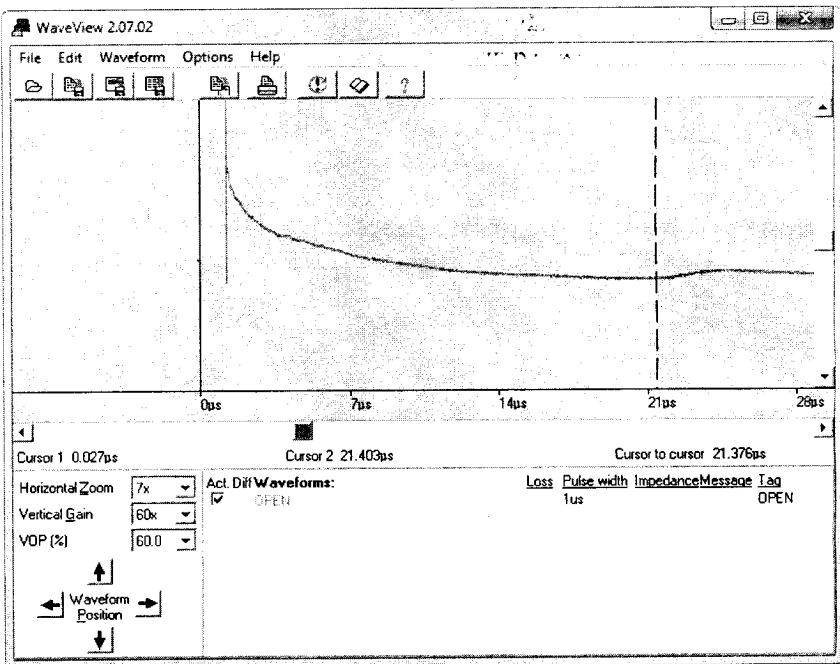


Рисунок 1.5 – Основне меню термінальної програми WaveView для взаємодії з RD6000 DSL

Таблиця 1.1 – Класифікація функціоналу аналізатора RD 6000 DSL рефлектометр; RFL – резистивний міст; Open/Cap Meter – ємнісний міст.

Тип пошкодження	Відмінно	Добре	Задовільно
Обрив	TDR	Open/Cap Meter	
Коротке замикання	TDR / RFL		
Високий опір місця контакту	TDR		
Розгалуження пари	TDR		
Перехідні завади		TDR	
Низький опір ізоляції	RFL		TDR
Низький опір ізоляції відносно "землі"	RFL		TDR
Пошкодження контакту	RFL	TDR	
Пошкодження заземлення	RFL	TDR	
Потрапляння води в кабель		TDR	
Місцезнаходження пупінової котушки	TDR		Open/Cap Meter

Режим роботи аналізатора RD 6000 DSL на основі ємнісного моста дозволяє вимірювати значення ємності між провідниками пари кабелю електрозв'язку, а також встановити наявність та визначити відстань до пошкодження – обриву лінії.

Режим роботи аналізатора на основі резистивного моста базується на трьох способах визначення місця пошкодження одного провідника або пари провідників кабельної лінії передавання: трипровідний, чотирипровідний, метод Купфмюлера. Вибір режиму роботи можна здійснити за допомогою меню пристрою, який відображено на рисунку 1.6.

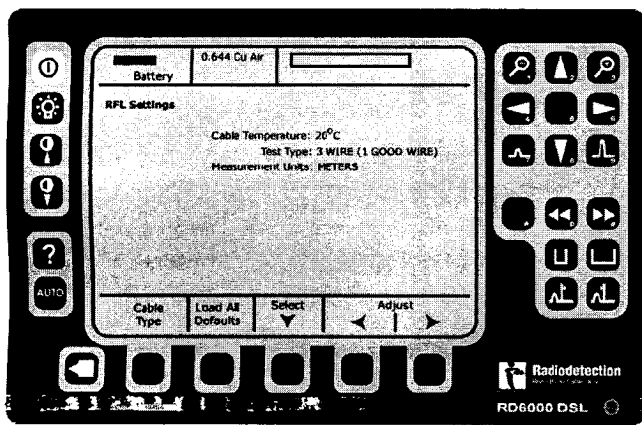


Рисунок 1.6 – Приклад конфігурації режиму роботи RD 6000 DSL на основі резистивного моста

Багатофункціональний вимірювач характеристик часу відбиття радіочастотного тестового сигналу (рефлектометр - TDR) дозволяє визначити тип та відстань до пошкодження в кабельній напрямній системі електричного зв'язку. Параметри запуску аналізатора в режимі рефлектометра зображено на рисунках 1.7 та 1.8. На рисунку 1.9 зображено приклад результатів роботи рефлектометра.

В таблиці 1.2 показано залежність параметрів тестового сигналу рефлектометра від значення довжини мертвої зони у досліджуваній лінії передавання.

- 1 – Курсор для визначення просторових координат на рефлектограмі;
- 2 – Поточний масштаб відображення сигналу в лінії зв'язку;
- 3 – Рефлектограма сигналу, яка характеризує параметри/ неоднорідності досліджуваної кабельної лінії;

- 4 – Вибір значення коефіцієнта підсилення, параметра фільтра та типу балансної схеми;
- 5 – Вибір значення ширини тестового імпульса та швидкості його поширення;
- 6 – Відображення відстані до позиції нульового курсора;
- 7 – Вибір режиму роботи.

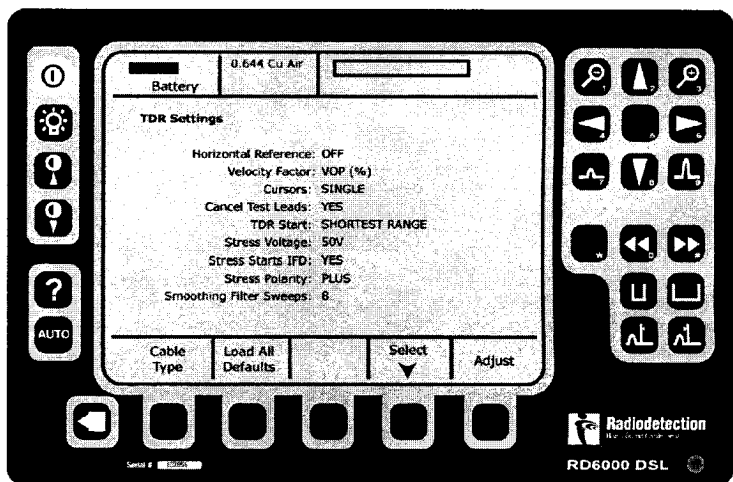


Рисунок 1.7 – Налаштування роботи рефлектометра

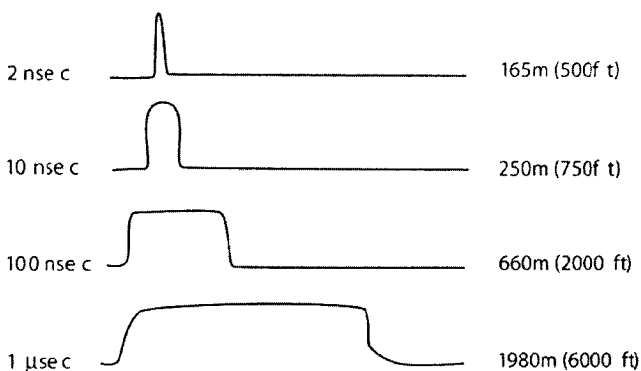


Рисунок 1.8 – Вибір оптимальних параметрів тестового сигналу рефлектометра при заданій довжині досліджуваної лінії передавання

Таблиця 1.2 – Залежність параметрів тестового сигналу рефлектометра від значення довжини мертвої зони у досліджуваній лінії передавання

Ширина імпульсу	Довжина мертвої зони			
	Вита пара		Коаксіальний кабель	
2 нс	6 футів	2 м	6 футів	2 м
10 нс	12 футів	4 м	14 футів	4 м
100 нс	50 ¹ футів	16 м	55 футів	17 м
1 мс	400 футів	120 м	430 футів	133 м
2 мс	630 футів	192 м	850 футів	360 м
4 мс	1250 футів	380 м	1690 футів	515 м
5 мс	1850 футів	564 м		

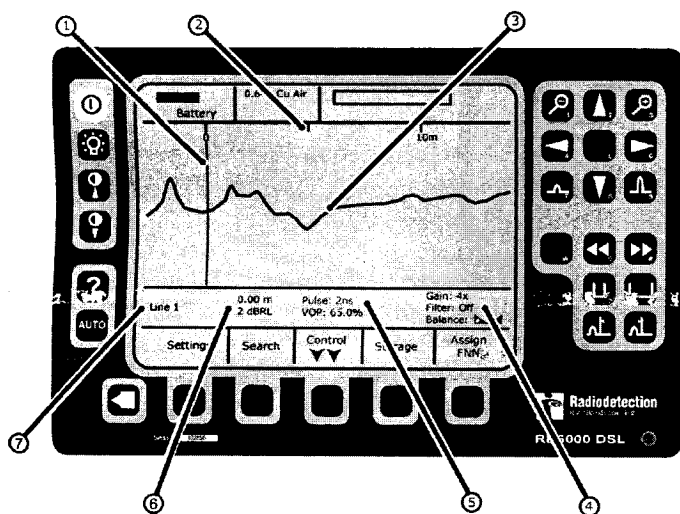


Рисунок 1.9 – Приклад відображення результатів роботи рефлектометра

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.

2. Використовуючи технічний опис та інструкцію з експлуатації RD6000 DSL, ознайомитись із правилами роботи з RD6000 DSL та термінальною програмою WaveView.

3. Виконати розрахунок первинних параметрів передачі згідно з методикою розрахунку [2]: активного опору, індуктивності, ємності, провідності ізоляції для заданих значень частот сигналу згідно з таблицею 1.3.

Таблиця 1.3 – Вихідні дані для виконання розрахунків

№	Тип кабелю електрозв'язку	Коефіцієнт ємнісного зв'язку, Ф/бл	Довжина підсилювальної ділянки, км	Значення частот, для яких необхідно виконати розрахунки				Примітки
				f ₁ , кГц	f ₂ , кГц	f ₃ , кГц	f ₄ , кГц	
1	МКСАБнШп 4x4x1,2	16·10 ⁻¹²	9	0,9	40	160	1600	
	КМБ-4	-	4	1700	3700	5700	10700	Розр. для коакс. пари 2.58/9,4
2	МКСБ 4x4x1,2	11·10 ⁻¹²	4	1,9	95	260	2600	
	КМК-8/6	-	2	2100	4100	6100	11100	Розр. для коакс. пари 2.58/9,4
3	МКСАБнШп 7x4x1,2	11·10 ⁻¹²	8	1,2	41,5	510	2150	
	МКТСБ-4	-	4	1350	2350	5350	7350	Розр. для коакс. пари 1.2/4,6

4. Виконати розрахунок вторинних параметрів передачі згідно з методикою розрахунку [2], (коефіцієнт затухання, коефіцієнт фази, модуль хвильового опору та швидкість поширення електромагнітної енергії) для заданих значень частот сигналу згідно з таблицею 1.3.

5. Навести графіки залежностей розрахованих первинних та вторинних параметрів передачі від частоти. Зробити висновки за отриманими формами залежностей.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 1.10 наведено структуру спеціального лабораторного стенда для визначення параметрів кабельних ліній напрямних систем електричного зв'язку за допомогою аналізатора RD 6000 DSL. Для нормальної роботи програми керування необхідний PC з такою конфігурацією:

Центральний процесор: Pentium 1200 МГц.

Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP.

Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 80 ГБ.

Монітор: VGA. (1024×768).

Миша / Клавіатура. Інтерфейс COM – Port RS-232 або USB-2.0.

Спочатку за допомогою нуля-модемного кабелю або перетворювача USB to COM необхідно підключити ПК до аналізатора RD 6000 DSL. Після цього підключаємо аналізатор до лінії передавання. Підключення до лінії, яку необхідно протестувати, виконується стандартним способом, що використовується для переважної кількості тестів та вимірювань. Правила підключення аналізатора до ліній електричного зв'язку вказано у рекомендаціях користувачу приладом RD6000 DSL [1]. Запускаємо на ПК термінальну програму WaveView для взаємодії з RD6000 DSL. Вмикаємо аналізатор та запускаємо термінальну програму, в якій вибираємо тип підключення – COM1. При вдалому підключенні отримуємо підтвердження у вікні результатів термінальної програми.

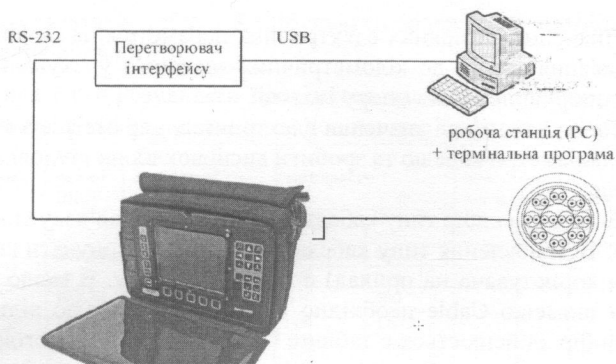


Рисунок 1.10 – Структурна схема лабораторного станда для визначення параметрів кабельних ліній напрямних систем електричного зв'язку

Порядок виконання роботи

1.1 Підготувати аналізатор RD 6000 DSL до роботи відповідно до рисунка 1.10. Виконати вимірювання електричних параметрів досліджуваного кабелю електричного зв'язку за постійним струмом та записати результати до таблиці 1.4: опір ізоляції між провідниками та опір ізоляції кожного провідника відносно заземлення $R_{13\text{ аб}}, R_{13\text{ а}}, R_{13\text{ б}}$; опір ізоляції відносно заземлення $R_{13\text{ е}}$; робочу ємність кіл C_0 та ємність провідників кабелю відносно заземлення $C_{\text{а}}$ та $C_{\text{б}}$; опір шлейфа провідників кабелю $R_{\text{шл}}$; омичну асиметрію ΔR .

Таблиця 1.4 – Результати дослідження електричних параметрів напрямної системи електричного зв'язку

Вимірювані величини	Дані вимірювань, № пари								Дані ТУ. 1 км 20 °С	При- мітка
	на довжину при вимірюванні (t°С)				на 1 км при 20 °С					
	1 п.	2 п.	3 п.	4 п.	1п.	2п.	3 п.	4 п.		
$R_{13\text{ аб}}, \text{ Ом}$										
$R_{13\text{ а}}, \text{ Ом}$										
$R_{13\text{ б}}, \text{ Ом}$										
$R_{13\text{ е}}, \text{ Ом}$										
$C_0, \text{ Ф}$										
$C_{\text{а}}, \text{ Ф}$										
$C_{\text{б}}, \text{ Ф}$										
$R_{\text{шл}}, \text{ Ом}$										
$\Delta R, \text{ Ом}$										

1.2 Значення вимірних електричних параметрів на заданій довжині лінії передавання звести до кілометричних значень з урахуванням температури для опору шлейфа та опору ізоляції.

Порівняти виміряні значення електричних параметрів з нормами на електричні параметри кабелю та зробити висновок щодо відповідності їх до ТУ на кабель.

1.3 Виконати вибір типу кабельної лінії електрозв'язку відповідно до таблиці 1.5. Встановлення типу кабелю необхідно виконувати (згідно з керівництвом користувача на прилад) в такому порядку. В меню Settings за допомогою підменю Cable необхідно вибрати тип кабелю відповідно до табл. 1.5. Вибір здійснюється в таблиці Cable Type за допомогою функціональних клавіш Select та Set. Після цього вибраний кабель буде відображений в верхньому інформаційному рядку налаштувань аналізатора.

Потрібно відмітити, що тестування вторинних параметрів передавання кабельних ліній електрозв'язку за допомогою RD6000 можна виконувати в двох режимах: частотному та широкосмуговому.

Таблиця 1.5 – Вихідні дані для вибору режиму роботи цифрового аналізатора електричних параметрів кабельної лінії електрозв'язку

№ варіанта	Параметри кабельних ліній електрозв'язку (тип ізоляції та діаметр провідника, мм)			Примітки
	Повітряна (CuAir)	Гелева (CuGel)	Паперова (CuPap)	
	1	0,4; 0,64	0,64	
2	0,9	0,4; 0,51	0,64	
3	0,51	0,9	0,4; 0,51	

Виконаємо тестування кабельних ліній зв'язку в чотирьох частотних режимах. Для цього необхідно підключити аналізатор на вхід кабельної лінії стандартним способом, а на вихід цієї ж лінії підключити віддалений модуль Remote і при цьому з'єднати корпусні клеми аналізатора та віддаленого модуля.

Примітка: червоний (а) та чорний (б) вимірювальні проводи аналізатора підключаються на вхід штучної лінії (ШЛ), а синя пара вимірювальних проводів віддаленого модуля підключається на вихід ШЛ. Білий провід віддаленого модуля та зелений провід аналізатора є корпусними, які необхідно з'єднати між собою.

1.7 Визначити коефіцієнт робочого затухання ШКЛ та нахил частотної характеристики для трьох типів телефонних мереж. Результати вимірювань записати до табл. 1.8.

Для цього в підменю POTS Insertion Loss за допомогою опції Slope необхідно вибрати режим Insertion Loss and Slope. Запуск вимірювань здійснюється за допомогою функціональної клавіші Start, а завершення – клавішею «Стрілка виходу».

За результатами табл. 1.8 побудувати залежності коефіцієнта робочого затухання від частоти.

Таблиця 1.8 – Результати досліджень частотних характеристик штучних кабельних ліній передавання за допомогою цифрового аналізатора

№ вар.	Тип телефонної мережі	№ та режим ШКЛ	Тип КЛ в аналізаторі	Значення імпедансу		Значення коэф. роб. затухання на 3-х значен. частоти			Значення нахилу ЧХ	
				Блк(NE)	Длк(FE)	f ₁	f ₂	f ₃	1	2
1	ITU-T	ШКЛ1 (п. 1)	Повітряна (0,51)	600	600					
			Паперова (0,90)	600	900					
		ШКЛ1 (п. 9)	Гелева (0,64)	TN12	600					
			Повітряна (0,40)	900	TN12					
		ШКЛ2 (п. 3)	Паперова (0,51)	TN12	TN12					
			Гелева (0,90)	900	900					
ШКЛ2 (п. 11)	Паперова (0,64)	600	600							
	Повітряна (0,90)	600	900							
2	ССІТТ	ШКЛ1 (п. 4)	Гелева (0,51)	TN12	600					
			Паперова (0,40)	900	TN12					
		ШКЛ1 (п. 10)	Гелева (0,40)	TN12	TN12					
			Повітряна (0,51)	900	900					
		ШКЛ2 (п. 4)	Паперова (0,90)	600	600					
			Гелева (0,64)	600	900					
ШКЛ2 (п. 8)	Повітряна (0,40)	TN12	600							
	Паперова (0,51)	900	TN12							
3	USA	ШКЛ1 (п. 5)	Гелева (0,90)	TN12	TN12					
			Паперова (0,64)	900	900					
		ШКЛ1 (п. 11)	Повітряна (0,90)	600	600					
			Гелева (0,51)	600	900					
		ШКЛ2 (п. 2)	Паперова (0,40)	TN12	600					
			Гелева (0,40)	900	TN12					
ШКЛ2 (п. 10)	Повітряна (0,51)	TN12	TN12							
	Паперова (0,90)	900	900							

1.8 Виконати вимірювання значення коефіцієнта робочого затухання ШКЛ за ручного налаштування робочих частот діапазону вимірювання. Для цього необхідно в підменю POTS Insertion Loss використати опцію Single. Після цього в підменю Insertion Loss Single за допомогою функціональних клавіш Selection та Adjust необхідно ввести вихідні дані (табл. 1.9) для початку тестування.

Таблиця 1.9 – Результати досліджень значень робочого затухання штучних кабельних ліній передавання в залежності від їх параметрів

№ вар	Тип КЛ в RD6000	Значення імпедансу		№ та режим ШКЛ	Значення робочого затухання в діапазоні частот, кЛ/ц												
		Блк(NE)	Длк(FE)		1	4	8	20	100	200	600	900	1200	1800	2000		
1	CuAir (0,4)	900	900	ШкЛ1 (п. 1)													
				ШкЛ1 (п. 6)													
		600	900	ШкЛ1 (п. 9)													
				ШкЛ2 (п. 3)													
				ШкЛ2 (п. 7)													
	CuGel (0,9)	900	TN12	ШкЛ2 (п. 11)													
				ШкЛ1 (п. 3)													
		600	600	ШкЛ1 (п. 7)													
				ШкЛ1 (п. 11)													
				ШкЛ2 (п. 1)													
				ШкЛ2 (п. 6)													
				ШкЛ2 (п. 9)													

Продовження таблиці 1.9

№ вар.	Тип КЛ з RD6000	Значення імпедансу		№ та режим ШКЛ	Значення робочого затухання в діапазоні частот, дБ										
		Бтк (NE)	Д.п. (TE)		1	4	8	20	100	200	600	900	1200	1800	2000
2	CuPap (0.64)	TN12	900	ШкЛ2 (п. 1)											
				ШкЛ2 (п. 6)											
				ШкЛ2 (п. 9)											
		600	900	ШкЛ1 (п. 3)											
	ШкЛ1 (п. 7)														
	ШкЛ1 (п. 11)														
	CuAir (0.9)			900	TN12	ШкЛ1 (п. 5)									
		ШкЛ1 (п. 8)													
ШкЛ1 (п. 9)															
900		600	ШкЛ2 (п. 3)												
	ШкЛ2 (п. 8)														
	ШкЛ2 (п. 11)														
	CuGel (0.4)		900	600	ШкЛ2 (п. 5)										
ШкЛ2 (п. 8)															
ШкЛ2 (п. 9)															
900		900	ШкЛ1 (п. 3)												
	ШкЛ1 (п. 8)														
	ШкЛ1 (п. 11)														
	CuPap (0.51)		TN12	TN12	ШкЛ1 (п. 1)										
ШкЛ1 (п. 10)															
ШкЛ1 (п. 11)															
600		900	ШкЛ2 (п. 2)												
	ШкЛ2 (п. 6)														
	ШкЛ2 (п. 10)														

1.9 Виконати тестування вторинних параметрів передачі (коефіцієнта робочого затухання) симетричних кабельних ліній в розширеному діапазоні за допомогою двох режимів роботи аналізатора RD6000: ручному та автоматичному. Визначимо значення коефіцієнта робочого затухання штучних кабельних ліній (аналоги симетричного кабелю КСПП-0,9) та симетричних кабелів структурованих мереж в діапазоні до 2,1 МГц. Для цього використаємо меню Pair Quality, яке складається з двох підменю POTS (в діапазоні тональних частот) та Wideband (в діапазоні до 2,1 МГц). Для запуску меню тестування необхідно використовувати опцію Insertion Loss.

Використовуючи почастотний режим роботи аналізатора визначити залежність значення коефіцієнта робочого затухання штучних кабельних ліній від робочої частоти в діапазоні до 2,1 МГц.

Для цього в меню Wideband Insertion Loss за допомогою опції Single відкрити підменю Insertion Loss Single.

В цьому підменю спочатку необхідно за допомогою функціональних клавіш Selection та Adjust ввести початкові дані згідно з таблицею 1.10.1. Результати вимірювань необхідно записати до табл. 1.10.2. За результатами з табл. 1.10.2 необхідно побудувати залежність коефіцієнта затухання штучних ліній від робочої частоти. Запуск процесу тестування здійснюється функціональною клавішею Start. Після завершення вимірювання в робочому вікні з'являється значення коефіцієнта робочого затухання.

Таблиця 1.10.1 – Вихідні дані для досліджень штучних кабельних ліній в розширеному діапазоні частот

№ вар.	№ ШКЛ	Тип кабелю в RD6000	Значення імпедансу, Ом	
			NE	FE
1	ШКЛ2 (п.3, 7, 11)	CuAir(0,4)	100	100
		CuPap(0,9)	120	120
2	ШКЛ1 (п.2, 6, 10)	CuGel(0,9)	150	150
		CuAir(0,9)	100	100
3	ШКЛ2 (п.1, 5, 9)	CuPap(0,51)	120	120
		CuGel(0,64)	150	150

Таблиця 1.10.2 – Результати досліджень значення робочого затухання в штучних кабельних лініях передавання в розширеному діапазоні частот

№ вар.	Значення робочого затухання (дБ) в діапазоні 2,1 МГц					
	0,4	0,8	1,1	1,5	1,8	2,1
1						
2						
3						

1.10 Використовуючи автоматичний режим роботи аналізатора визначити залежність значення коефіцієнта робочого затухання штучних кабельних ліній від робочої частоти в діапазоні до 2,1 МГц. Для цього в меню Wideband Insertion Loss за допомогою опції Sweep відкрити підменю Insertion Loss Sweep. В цьому підменю спочатку необхідно за допомогою функціональних клавіш Selection та Adjust ввести початкові дані відповідно до таблиці 1.11. Результати вимірювань необхідно записати в звіт роботи. Запуск процесу тестування здійснюється функціональною клавішею Start.

Таблиця 1.11 – Вихідні дані для налаштування роботи цифрового аналізатора за дослідження штучних кабельних ліній передавання

№ вар.	№ ШКЛ	Тип кабелю в RD6000	Значення імпедансу, Ом	
			NE	FE
1	ШКЛ1 (п.1, 4, 8)	CuPap(0,64)	120	120
		CuGel(0,4)	100	100
2	ШКЛ2 (п.4, 8, 10)	CuGel(0,51)	150	150
		CuAir(0,64)	120	120
3	ШКЛ1 (п.3, 5, 11)	CuGel(0,9)	100	100
		CuAir(0,9)	150	150

1.11 Використовуючи почастотний режим роботи аналізатора визначити залежність значення коефіцієнта робочого затухання симетричних кабелів структурованих мереж від робочої частоти в діапазоні до 2,1 МГц. Для цього в меню Wideband Insertion Loss за допомогою опції Single відк-

риту підменю Insertion Loss Single. В цьому підменю спочатку необхідно за допомогою функціональних кнопок Selection та Adjust ввести початкові дані згідно з таблицею 1.12. Результати вимірювань необхідно записати в табл. 1.12. За результатами з табл. 1.12 необхідно побудувати залежність коефіцієнта затухання штучних ліній від робочої частоти. Запуск процесу тестування здійснюється функціональною кнопкою Start. Після завершення вимірювання в робочому вікні з'являється значення коефіцієнта робочого затухання.

Таблиця 1.12 – Результати досліджень значення коефіцієнта затухання кабельних ліній передавання в розширеному діапазоні робочих частот

№ вар	Тип симетричного кабелю	Тип кабелю в RD6000	Значення імпедансу, Ом		Значення робочого затухання (дБ) в діапазоні 2,1 МГц					
			NE	FE	0,55	0,9	1,2	1,45	1,7	2
1	Кабель №1	CuPap(0,64)	100	100						
		CuGel(0,4)	120	120						
2	Кабель №2	CuGel(0,51)	150	150						
		CuAir(0,9)	100	100						
3	Кабель №3	CuPap(0,51)	120	120						
		CuGel(0,64)	150	150						

1.12 Використовуючи автоматичний режим роботи аналізатора визначити залежність значення коефіцієнта робочого затухання штучних кабельних ліній від робочої частоти в діапазоні до 2,1 МГц. Для цього в меню Wideband Insertion Loss за допомогою опції Sweep відкрити підменю Insertion Loss Sweep. В цьому підменю спочатку необхідно за допомогою функціональних кнопок Selection та Adjust ввести початкові дані відповідно до таблиці 1.13. Результати вимірювань необхідно записати в звіт роботи. Запуск процесу тестування здійснюється функціональною кнопкою Start.

Таблиця 1.13 – Вихідні дані для налаштування роботи цифрового аналізатора за дослідження симетричних кабельних ліній передавання

№ вар.	№ ШКЛ	Тип кабелю в RD6000	Значення імпедансу, Ом	
			NE	FE
1	Кабель №3	CuAir(0,64)	120	120
		CuGel(0,9)	100	100
2	Кабель №1	CuAir(0,9)	150	150
		CuPap(0,64)	100	100
3	Кабель №2	CuGel(0,4)	120	120
		CuGel(0,51)	150	150

1.13 Виконати вимірювання значення сигнал/шум в кабельній лінії електрозв'язку. Для цього використовується меню Pair Quality, в якому необхідно вибрати підменю POTS. В цьому підменю необхідно відкрити опцію SN Ratio та ввести вихідні дані для тестування відповідно до табл. 1.14. Результати вимірювань записати до табл. 1.14.

Таблиця 1.14 – Результати досліджень значення відношення сигнал/шум в кабельних лініях передавання у разі використання різних частотних стандартів

№ вар.	Тип фільтра шуму в RD6000	Тип частотного стандарту	Значення імпедансу, Ом		Значення відношення сигнал/шум, дБ
			NE	FE	
1	Псофометричний	CCITT	600	600	
	3 кГц з положою характеристикою	ITU-T	900	600	
2	3 кГц з положою характеристикою	USA	600	900	
	Псофометричний	ITU-T	900	900	
3	Псофометричний	ITU-T	TN12	900	
	3 кГц з положою характеристикою	CCITT	TN12	TN12	

1.14 Виконати вимірювання власного шуму кабельної лінії електрозв'язку. Для цього необхідно використати меню Pair Quality, в якому відкрити підменю POTS. В цьому підменю за допомогою опції Noise здійснюється тестування власного шуму напрямних кабельних систем. Спочатку необхідно ввести початкові дані для процесу тестування відповідно до табл. 1.15 Запуск тестування власного шуму здійснюється за допомогою опції Noise Metallic.

Таблиця 1.15 – Результати досліджень значення власного шуму кабельних ліній передавання за використання різних частотних стандартів

№ вар.	Тип фільтра шуму в RD6000	Режим вимірювання кабельної лінії	Середнє значення власного шуму кабельної лінії електрозв'язку	Максимальне значення власного шуму кабельної лінії електрозв'язку
1	Псофометричний	DLC		
	3 кГц з положою характеристикою	Term.Only		
2	C-зважений	DLC		
	3 кГц з положою характеристикою	DLC		
3	Псофометричний	Term.Only		
	C-зважений	Term.Only		

1.15 Виконати вимірювання впливу силових установок на кабельні лінії електрозв'язку. Для цього необхідно використовувати меню Noise, що знаходиться в меню POTS Pair Quality. Запуск тестування впливу силових установок на лінії електрозв'язку виконується за допомогою опції Power Influence. Вихідні дані для виконання вимірювання вказано в табл. 1.16. Результати вимірювання впливу силових установок потрібно записувати до табл. 1.16.

Таблиця 1.16 – Результати досліджень впливу силових установок на кабельні лінії електрозв'язку у випадку використання різних режимів вимірювання

№ вар.	Тип фільтра шуму в RD6000	Режим вимірювання кабельної лінії	Середнє значення власного шуму кабельної лінії електрозв'язку	Максимальне значення власного шуму кабельної лінії електрозв'язку
1	3 кГц з пологою характеристикою	DLC		
		Term.Only		
2	С-зважений	DLC		
		Term.Only		
3	Псофометричний	DLC		
		Term.Only		

1.16 Виконати вимірювання повздожньої асиметрії, яка дозволяє оцінити збалансованість інформаційного сигналу на провідниках кабельної пари. Потрібно відмітити, що повздожна асиметрія також впливає на ефективність подавлення завад. Після запуску тесту за допомогою опції Balance отримуємо в меню Longitudinal Balance значення асиметрії провідників кабельної пари, яке необхідно записати до звіту роботи.

1.17 Виконати вимірювання значення спектральної потужності (залежності потужності сигналу від частоти). Цей тест дає можливість виявити завади в широкому діапазоні. Для виконання цього вимірювання в меню Wideband Pair Quality є два режими: при відключеній лінії від станційного обладнання (Inactive) та на діючій лінії (Active).

Виконаємо вимірювання спектральної потужності за умови незадіяної лінії. Для цього необхідно в меню Wideband Pair Quality вибрати підменю PSD (Inactive). В цьому підменю спочатку необхідно за допомогою функціональної клавіші Telco Service вибрати клас телекомунікаційної мережі, до якої відноситься лінія, яку необхідно протестувати. Вибір мережі необхідно виконувати за допомогою функціональних клавіш Selection та Set. Потім необхідно в робочому меню ввести вихідні умови тестування, що вказані в табл. 1.17. Результати вимірювань записати також в табл. 1.17.

Таблиця 1.17 – Результати вимірювання значення спектральної потужності завади в широкому діапазоні частот для різних режимів роботи лінії передавання

№ вар.	Тип кабельної лінії в RD6000	Тип сервісу за кабельною лінією	Максимальне значення спектра сигналу	Мінімальне значення спектра сигналу
1	Повітряна (0,64)	HDSL (1168)		
		ADSL (FD/EC)		
2	Гелева (0,9)	HDSL (2320)		
		ISDN (BR)		
3	Паперова (0,51)	HDSL (768)		
		HDSL (2320)		

1.18 Виконаємо вимірювання спектральної потужності за умови задіяної лінії. Для цього необхідно в меню Wideband Pair Quality вибрати підменю PEF (Active). В цьому підменю спочатку необхідно за допомогою функціональної клавіші Telco Service вибрати клас телекомунікаційної мережі, до якої відноситься лінія, котру необхідно протестувати. Вибір мережі необхідно виконувати за допомогою функціональних клавіш Selection та Set. Потім необхідно в робочому меню ввести вихідні умови тестування, що вказані в табл. 1.18. Результати вимірювань записати також до табл. 1.18.

Таблиця 1.18 – Результати вимірювання залежності потужності сигналу від частоти для різних режимів роботи лінії передавання

№ вар.	Тип кабельної лінії в RD6000	Тип сервісу за кабельною лінією	Максимальне значення спектра сигналу	Мінімальне значення спектра сигналу
1	Повітряна (0,51)	HDSL (2320)		
2	Паперова (0,9)	HDSL (1168)		
3	Гелева (0,64)	HDSL (768)		

1.19 Виконати автоматичне тестування кабельної пари за допомогою цифрового аналізатора кабельних ліній RD6000 DSL. Для цього спочатку необхідно підключити прилад та віддалений модуль до кабельної лінії стандартним способом. Після цього необхідно встановити тип кабелю в меню аналізатора згідно з табл. 1.19.

За допомогою функціональної клавіші AUTO необхідно відкрити меню Autotest. В цьому меню, використавши опцію Standart, можна вибрати режим тестування, тобто з використанням віддаленого модуля Remote та без нього – No Remote. Після цього за допомогою опції Last FNN відмічаємо порядковий номер вимірювання. За допомогою функціональної клавіші Start та опції вибору запису вимірювань (No Save – без збереження результатів) запускаємо процес тестування пари симетричного кабелю. За допомогою функціональної клавіші Next Page переглядаємо результати автоматичних вимірювань, як показано на рисунку 1.11 та записуємо до табл. 1.19.

Таблиця 1.19 – Результати автоматичного тестування електричних параметрів лінії передавання

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Режим роботи аналізатора RD6000	Результати тестування симетричного кабелю			
				A-B	A-E	B-E	Q
1	Кабель №1	CuAir (0,4)	No Remote				
		CuPap (0,51)	Remote				
2	Кабель №2	CuPap (0,4)	No Remote				
		CuAir (0,51)	Remote				
3	Кабель №3	CuGel (0,4)	No Remote				
		CuGel (0,4)	Remote				

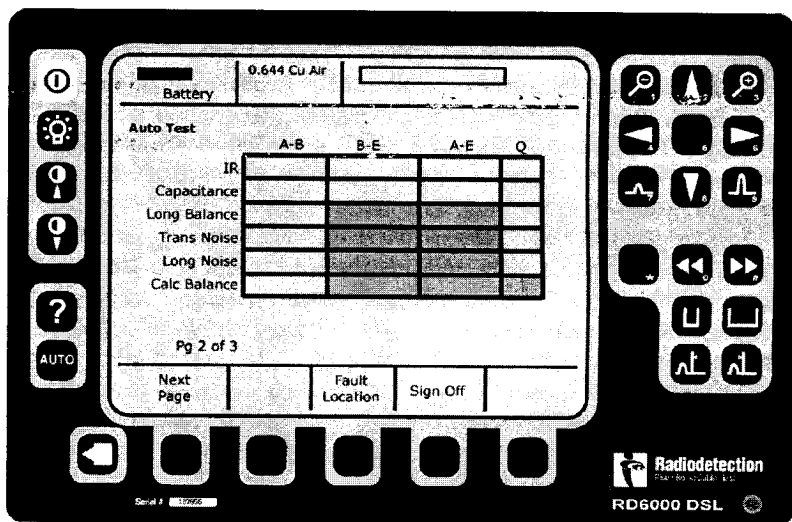
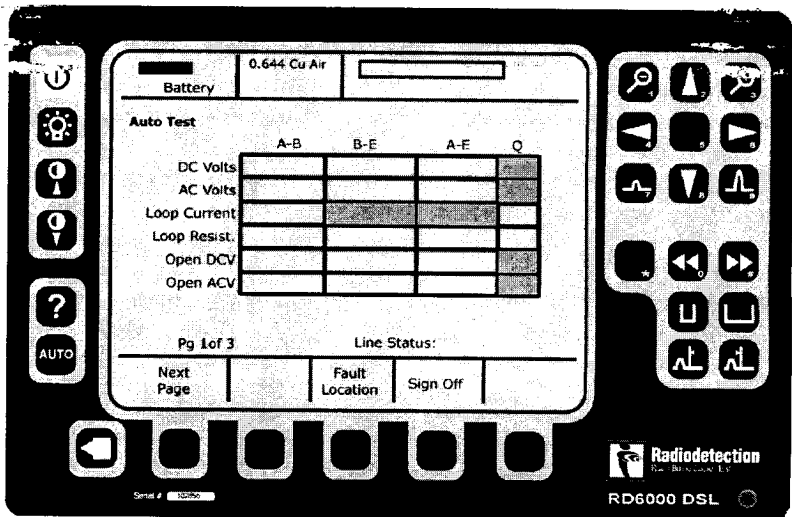


Рисунок 1.11 – Результати автоматичних вимірювань

Порівняти результати режимів роботи аналізатора, використовуючи збережені дані вимірювань, як показано на рисунку 1.12

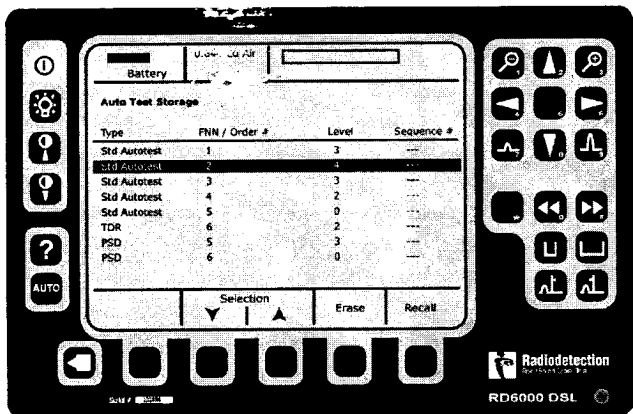


Рисунок 1.12 – Збереження результатів автоматичних вимірювань

1.20 Виконати вимірювання значення ємності між провідниками пари симетричного кабелю та встановити наявність і місце пошкодження в кабелі електрозв'язку. Для цього необхідно підключити аналізатор до кабелю стандартним способом. Після цього за допомогою функціональної клавіші Fault Location відкрити меню пошуку пошкоджень. В цьому меню доступно два режими для визначення місця обриву кабельної лінії: ємнісний міст (Open/Cap Meter) та рефлектометр (TDR). Спочатку виконаємо вимірювання за допомогою ємнісного моста. Для цього спочатку необхідно в меню Open/Cap Meter ввести вихідні дані згідно з табл. 1.20. Після цього виконати вимірювання та результати записати до табл. 1.20.

Таблиця 1.20 – Результати автоматичного вимірювання значення ємності між провідниками пари симетричного кабелю електрозв'язку

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Результати тестування симетричного кабелю		
			A-B	A-E	B-E
1	Кабель №2	CuAir (0,4)			
2	Кабель №3	CuPap (0,4)			
3	Кабель №1	CuGel (0,4)			

1.21 Визначити параметри кабельної лінії за допомогою резистивного моста (RFL). Для цього спочатку в меню RFL (3-Wire) за допомогою підменю RFL Settings необхідно ввести початкові дані з табл. 1.21. Після цього виконати вимірювання за допомогою функціональної клавіші Test та ре-

зультати в омах і метрах записати в табл. 1.21. Повторний запуск вимірювання без зміни налаштувань можна запустити за допомогою функціональної клавіші Relocate, а для повторного тестування з іншими вихідними даними необхідно використовувати функціональну клавішу New Pair. Опція Transfer to TDR забезпечує швидкий перехід в меню рефлектометра.

Таблиця 1.21 – Результати автоматичного вимірювання електричних параметрів кабельної лінії за допомогою цифрового аналізатора в режимі резистивного моста (RFL)

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Результати тестування симетричного кабелю		
			DTS	DTF	STF
1	Кабель №3	CuPap (0,51)			
2	Кабель №1	CuAir (0,51)			
3	Кабель №2	CuGel (0,51)			

1.22 Виконати вимірювання значення ємності між провідниками пари симетричного кабелю та встановити наявність та місце пошкодження в кабелі електрозв'язку. Для цього необхідно підключити аналізатор до кабелю стандартним способом. Після цього за допомогою функціональної клавіші Fault Location відкрити меню пошуку пошкоджень. В цьому меню доступно два режими для визначення місця обриву кабельної лінії: ємнісний міст (Open/Cap Meter) та рефлектометр (TDR). Спочатку виконаємо вимірювання за допомогою ємнісного моста. Для цього спочатку необхідно в меню Open/Cap Meter ввести вихідні дані згідно з табл. 1.22. Після цього виконати вимірювання та результати записати до табл. 1.22.

Таблиця 1.22 – Результати автоматичного вимірювання значення ємності між провідниками пари симетричного кабелю за допомогою цифрового аналізатора в режимі ємнісного моста (Open/Cap Meter)

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Тип внесеного пошкодження	Результати тестування симетричного кабелю		
				A-B	A-E	B-E
1	Кабель №1	CuAir (0,4)	№1 п.1			
			№1 п.5			
			№1 п.11			
2	Кабель №2	CuPap (0,4)	№2 п.2			
			№2 п.6			
			№2 п.10			
3	Кабель №3	CuGel (0,4)	№3 п.3			
			№3 п.7			
			№3 п.11			

1.23 Виконати тестування пари симетричного кабелю та встановити місце пошкодження. Для цього необхідно підключити аналізатор до кабелю стандартним способом. Після цього за допомогою функціональної клавіші Fault Location відкрити меню пошуку пошкоджень. Виконаємо вимірювання за допомогою рефлектометра. Для цього спочатку необхідно в меню TDR ввести вихідні дані згідно з табл. 1.23. Після цього виконати вимірювання та результати записати до звіту роботи. Зробити висновки за отриманими залежностями. Потрібно відмітити, що ширину тестового імпульсу необхідно вибирати з урахуванням оптимального відображення результату тестування.

Таблиця 1.23 – Результати тестування параметрів симетричного кабелю та визначення місця обриву кабельної лінії за допомогою цифрового аналізатора в режимі рефлектометра (TDR)

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Тип внесеного пошкодження	Результати тестування симетричного кабелю		
				Місце пошкодження	Значення затухання	№ рис. тесту кабелю
1	Кабель №2	CuAig (0,4)	КЗ			
			Обрив			
			Пошкодження ізоляції			
2	Кабель №3	CuPap (0,4)	КЗ			
			Обрив			
			Пошкодження ізоляції			
3	Кабель №1	CuGel (0,4)	КЗ			
			Обрив			
			Пошкодження ізоляції			

1.24 Виконати автоматичне тестування комбінованої кабельної пари. Для цього спочатку необхідно підключити прилад та віддалений модуль до кабельної лінії стандартним способом. Після цього необхідно встановити тип кабелю в меню аналізатора згідно з табл. 1.24.

За допомогою функціональної клавіші AUTO необхідно відкрити меню Autotest. В цьому меню, використавши опцію Standart, можна вибрати режим тестування, тобто з використання віддаленого модуля Remote та без нього – No Remote. Після цього за допомогою опції Last FNN відмічаємо порядковий номер вимірювання. За допомогою функціональної клавіші Start та опції вибору запису вимірювань (No Save – без збереження результатів) запускаємо процес тестування пари симетричного кабелю. За допомогою функціональної клавіші Next Page переглядаємо результати автоматичних вимірювань та записуємо в табл. 1.24.

Таблиця 1.24 – Результати автоматичного визначення електричних параметрів комбінованої кабельної пари прямої системи електричного зв'язку

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Режим роботи аналізатора RD6000	Результати тестування симетричного кабелю			
				A-B	A-E	B-E	Q
1	Кабель №1+№2	CuAir (0,4)	Remote				
2	Кабель №2+№3	CuPap (0,4)	Remote				
3	Кабель №1+№2+№3	CuGel (0,4)	Remote				

Порівняти отримані результати.

1.25 Виконати вимірювання значення ємності між провідниками пари симетричного кабелю та встановити наявність і місце пошкодження в кабелі електрозв'язку. Для цього необхідно підключити аналізатор до кабелю стандартним способом. Після цього за допомогою функціональної клавіші Fault Location відкрити меню пошуку пошкоджень. В цьому меню доступно два режими для визначення місця обриву кабельної лінії: ємнісний міст (Open/Cap Meter) та рефлектометр (TDR). Спочатку виконаємо вимірювання за допомогою ємнісного моста. Для цього спочатку необхідно в меню Open/Cap Meter ввести вихідні дані згідно з табл. 1.25. Після цього виконати вимірювання та результати записати до табл. 1.25.

Таблиця 1.25 – Результати вимірювання значення ємності між провідниками пари симетричного кабелю та встановлення наявності і місця пошкодження в кабелі електрозв'язку

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Результати тестування симетричного кабелю		
			A-B	A-E	B-E
1	Кабель №1+№2+№3	CuAir (0,4)			
2	Кабель №1+№2	CuPap (0,4)			
3	Кабель №2+№3	CuGel (0,4)			

1.26 Визначити параметри кабельної лінії за допомогою резистивного моста (RFL). Для цього спочатку в меню RFL (3-Wire) за допомогою підменю RFL Settings необхідно ввести початкові дані з табл. 1.26. Після цього виконати вимірювання за допомогою функціональної клавіші Test та результати в омах і метрах записати в табл. 1.26.

Таблиця 1.26 – Результати вимірювання параметрів кабельної лінії за допомогою резистивного моста (RFL)

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Результати тестування симетричного кабелю		
			DTS	DTF	STF
1	Кабель №2+№3	CuPap (0,51)			
2	Кабель №1+№2+№3	CuAir (0,51)			
3	Кабель №1+№2	CuGel (0,51)			

1.27 Виконати тестування пари комбінованого симетричного кабелю та встановити місце пошкодження. Для цього необхідно підключити аналізатор до кабелю стандартним способом. Після цього за допомогою функціональної клавіші Fault Location відкрити меню пошуку пошкоджень. Виконаємо вимірювання за допомогою рефлектометра. Для цього спочатку необхідно в меню TDR ввести вихідні дані згідно з табл. 1.27.

Таблиця 1.27 – Результати тестування пари комбінованого симетричного кабелю та встановлення місця пошкодження

№ вар.	Тип кабелю	Тип кабелю в RD6000	Тип внесеного пошкодження	Результати тестування симетричного кабелю		
				Місце пошкодження	Значення затухання	№ рис. тесту кабелю
1	Кабель №1+№2+№3 не узгоджений	CuAir (0,51)	КЗ			
			Обрив			
			Пошкодження ізоляції			
2	Кабель №1+№2+№3 узгоджений за виходом	CuPap (0,51)	КЗ			
			Обрив			
			Пошкодження ізоляції			
3	Кабель №1+№2+№3 узгоджений за входом	CuGel (0,51)	КЗ			
			Обрив			
			Пошкодження ізоляції			

Після цього виконати вимірювання та результати записати до звіту роботи (табл. 1.27). Зробити висновки за отриманими залежностями. Потрібно відмітити, що ширину тестового імпульсу необхідно вибрати з урахуванням оптимального відображення.

1.28 Виконати перевірку перехідних впливів в кабельних лініях електров'язку можна аналізатором кабельних ліній RD6000 в двох частотних діапазонах: в діапазоні тональних частот та в розширеному діапазоні до 2,1 МГц. Для цього необхідно використовувати меню Pair Quality, в якому знаходиться два підменю, що відповідають за діапазон робочих частот приладу: в режимі POTS забезпечується вимірювання в діапазоні тональних частот, а в режимі Wideband - в розширеному діапазоні до 2,1 МГц.

Виконати перевірку перехідних впливів в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в діапазоні тональних частот. Для цього спочатку необхідно в меню POTS Pair Quality за допомогою функціональної клавіші Control вибрати підменю Crosstalk. В цьому підменю є два режими вимірювань перехідних впливів: ручний (Single) та атоматичний (Sweep). Запуск визначення перехідних впливів здійснюється функціональною клавішею Start в меню Crosstalk Single. Але перед запуском тестування необхідно ввести в цьому меню вихідні дані, вказані в табл. 1.28. Введення вихідних даних для тестування необхідно виконувати за допомогою функціональних клавіш Selection та Adjust. За результатами табл. 1.28 побудувати залежності перехідних впливів від робочої частоти кабельної лінії.

Таблиця 1.28 – Результати дослідження перехідних впливів в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в діапазоні тональних частот

№ вар.	Тип симетричного кабелю	Тип КЛ в RD6000	Значення імпедансу, Ом		Режим вимірювання (Direction)	Значення перехідних впливів в діапазоні тональних частот до 6 кГц			
			NE	FE		1	2	3	6
1	Кабель без переходів	CuAir (0,51)	600	600	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №1 (п. 1)		900	900	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №1 (п. 6)		TN12	TN12	NEXT				
					FEXT				
2	Кабель без переходів	CuPap (0,51)	TN12	TN12	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №2 (п. 4)		600	600	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №2 (п. 9)		900	900	NEXT				
					FEXT				
3	Кабель без переходів	CuGel (0,51)	900	900	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 2)		TN12	TN12	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 8)		600	600	NEXT				
					FEXT				

1.29 Визначити перехідні впливи в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в діапазоні тональних частот. Для цього спочатку необхідно в меню POTS Pair Quality за допомогою функціональної клавіші Control вибрати підменю Crosstalk. В цьому підменю вибрати атоматичний режим вимірювання перехідних впливів (Sweep). Запуск визначення перехідних впливів здійснюється функціональною клавішею Start в меню Crosstalk Sweep. Перед запуском тестування необхідно ввести в цьому меню вихідні дані, вказані в табл. 1.29. Введення вихідних даних для тестування необхідно виконувати за допомогою функціональних клавіш Selection та Adjust. Результати тестування записати в звіт роботи.

Таблиця 1.29 – Результати автоматичного вимірювання перехідних впливів в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в діапазоні тональних частот

№ вар.	Тип симетричного кабелю	Тип КЛ в RD6000	Значення імпедансу, Ом		Режим вимірювання (Direction)	Максимальне значення перехідних впливів в діапазоні тональних частот до 6 кГц
			NE	FE		
1	Кабель без переходів	CuGel (0,64)	600	600	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №2 (п. 1)		900	900	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №2 (п. 7)		TN12	TN12	NEXT	
					FEXT	
2	Кабель без переходів	CuAir (0,64)	TN12	TN12	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 5)		600	600	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 11)		900	900	NEXT	
					FEXT	
3	Кабель без переходів	CuPap (0,64)	900	900	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №1 (п. 4)		TN12	TN12	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №1 (п. 10)		600	600	NEXT	
					FEXT	

1.30 Визначити перехідні впливи в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в розширеному діапазоні робочих частот. Для цього спочатку необхідно в меню Pair Quality за допомогою функціональної клавіші Control вибрати підменю Wideband Crosstalk. В цьому підменю є два режими вимірювань перехідних впливів: ручний (Single) та автоматичний (Sweep). Запуск визначення перехідних впливів здійснюється функціональною клавішею Start в меню Crosstalk Single. Але перед запуском тестування необхідно ввести в цьому меню вихідні дані, вказані в табл. 1.30. Введення вихідних даних для тестування необхідно виконувати за допомогою функціональних клавіш Selection та Adjust. За результатами табл. 1.30 побудувати залежності перехідних впливів від робочої частоти кабельної лінії.

Таблиця 1.30 – Результати атоматичного вимірювання перехідних впливів в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в діапазоні тональних частот

№ вар.	Тип симетричного кабелю	Тип КЛ в RD6000	Значення імпедансу, Ом		Режим вимірювання (Direction)	Значення перехідних впливів в розширеному діапазоні частот до 2,1 МГц			
			NE	FE		0,5	1	1,5	2
1	Кабель без переходів	CuPap (0,4)	100	100	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 6)		120	120	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 10)		135	135	NEXT				
					FEXT				
2	Кабель без переходів	CuAir (0,4)	120	120	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №1 (п. 3)		100	100	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №1 (п. 9)		135	135	NEXT				
					FEXT				
3	Кабель без переходів	CuGel (0,4)	135	135	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №2 (п. 2)		120	120	NEXT				
					FEXT				
	Кабель з перехідн. вплив. №2 (п. 11)		100	100	NEXT				
					FEXT				

Таблиця 1.31 – Визначити перехідні впливи в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в діапазоні тональних частот.

Таблиця 1.31 – Результати атоматичного вимірювання перехідних впливів в симетричних кабельних лініях структурованих мереж в розширеному діапазоні робочих частот

№ вар.	Тип симетричного кабелю	Тип КЛ в RD6000	Значення імпедансу, Ом		Режим вимірювання (Direction)	Максимальне значення перехідних впливів в розширеному діапазоні робочих частот до 2,1 МГц
			NE	FE		
1	Кабель без переходів	CuGel (0,9)	100	100	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 4)		120	120	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №3 (п. 9)		135	135	NEXT	
					FEXT	
2	Кабель без переходів	CuAir (0,9)	120	120	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №4 (п. 3)		100	100	NEXT	
					FEXT	
	Кабель з перехідн. вплив. №4 (п. 8)		135	135	NEXT	
					FEXT	
3	Кабель без переходів	CuPap (0,9)	135	135	NEXT	
					FEXT	

Для цього спочатку необхідно в меню Pair Quality за допомогою функціональної клавіші Control вибрати підменю Wideband Crosstalk. В цьому підменю є два режими вимірювань перехідних впливів: ручний (Single) та атоматичний (Sweep). Запуск визначення перехідних впливів здійснюється функціональною клавішею Start в меню Crosstalk Sweep. Перед запуском тестування необхідно ввести в цьому меню вихідні дані, що вказані в табл. 1.31. Введення вихідних даних для тестування необхідно виконувати за допомогою функціональних клавіш Selection та Adjust. Результати тестування записати в звіт роботи.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, значення розрахованих первинних та вторинних параметрів передачі: активного опору, індуктивності, ємності, провідності ізоляції, коефіцієнта затухання, коефіцієнта фази, модуля хвильового опору та швидкості поширення електромагнітної енергії для заданих значень частот сигналу, графіки залежностей первинних і вторинних параметрів передачі від частоти, висновки за отриманими формами залежностей, результати розрахунку значень опору шлейфа та робочої ємності кола для заданого кабелю, табличні та графічні результати виконаних широкосмугових тестувань електричних параметрів кабельних пар систем електричного зв'язку; загальний висновок щодо придатності до експлуатації ділянки кабельної лінії передавання.

Контрольні запитання

1. Вкажіть призначення напрямних систем електричного зв'язку.
2. Вкажіть призначення, види та обсяг електричних вимірювань кабельних ліній зв'язку.
3. Вкажіть принципів схеми вимірювань опору ізоляції та ємності, опору шлейфу та омичної асиметрії провідників електричних кіл за допомогою аналізатора RD 6000 DSL.
4. Вкажіть норми електричних параметрів кабелів електричного зв'язку за постійного струму.
5. Пояснити фізичний зміст вторинних параметрів кабельних ліній електрозв'язку: затухання, фазовий зсув та хвильовий опір.
6. Проаналізувати залежність первинних параметрів кабельних ліній електрозв'язку від частоти та температури.

7. Проаналізувати залежність вторинних параметрів кабельних ліній електрозв'язку від частоти та температури.
8. Пояснити характер зміни первинних параметрів симетричних кабельних ліній електрозв'язку при збільшенні відстані між провідниками.
9. Пояснити характер зміни первинних параметрів симетричних кабельних ліній електрозв'язку при збільшенні діаметра провідників.
10. Пояснити причини виникнення затухання сигналів в напрямних системах електрозв'язку.
11. Пояснити необхідність визначення затухання сигналів в напрямних системах електрозв'язку.
12. Вказати типи та пояснити залежність вторинних параметрів передачі кабельних ліній електрозв'язку від робочої частоти.
13. Пояснити методику визначення вторинних параметрів кабелів електрозв'язку.
14. Пояснити методику вимірювання значення робочого затухання кабелів електрозв'язку.
15. Вказати нормовані значення робочого затухання для симетричних кабелів КСПП-0,9 та КСПП-1,2 і пояснити отримані значення.
16. Пояснити необхідність вимірювання значення сигнал/шум в кабельних лініях електрозв'язку.
17. Пояснити необхідність вимірювання спектральної потужності сигналів в кабельних лініях електрозв'язку.
18. Пояснити методику вимірювання значення сигнал/шум в кабельних лініях електрозв'язку.
19. Пояснити методику вимірювання спектральної потужності сигналів в кабельних лініях електрозв'язку.
20. Проаналізувати електричні параметри напрямних систем електричного зв'язку.
21. Пояснити призначення та функціональні можливості приладу RD6000 DSL.
22. Вказати режими роботи приладу RD6000 DSL для визначення характеру та місця пошкодження в симетричній кабельній лінії.
23. Пояснити методику пошуку пошкодження в симетричному кабелі.
24. Пояснити переваги та недоліки приладу RD6000 DSL порівняно з іншими аналогічними приладами.
25. Пояснити методику керування функціями рефлектометра в приладі RD6000 DSL.
26. Проаналізувати залежність затухання сигналу від довжини лінії, що отримано в результаті роботи рефлектометра.

Лабораторна робота № 2

Тема: Дослідження вторинних параметрів напрямних систем електричного зв'язку за допомогою цифрового аналізатора кабельних ліній АТК-01.

Мета роботи: виконати широкосмугове тестування параметрів напрямних систем електричного зв'язку за допомогою цифрового аналізатора кабельних ліній АТК-01.

- Обладнання:**
1. Зразки кабелів електрозв'язку;
 2. Цифровий аналізатор кабельних ліній АТК-01;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Прилад АТК-01 призначений для вимірювання параметрів каналів тональної частоти, каналоутворювальної апаратури та інших лінійних трактів, а також для вимірювання і аналізу параметрів кабельного господарства при впровадженні обладнання «останньої милі» (xDSL).

Універсальний портативний пристрій АТК-01 має такі функції:

- генерування синусоїдального сигналу в діапазоні 1 Гц...2,1 МГц;
- вимірювання середньоквадратичного значення рівня та частоти синусоїдального сигналу в діапазоні 200 Гц...2,1 МГц;
- вимірювання рівня перехідного затухання;
- фільтрація сигналів (вибіркова, низької частоти, високої частоти, смугова, загороджувальна, псофометрична);
- вимірювання рівня шумів;
- вимірювання відношення сигнал/шум;
- вимірювання АЧХ;
- вимірювання імпеданс-частотної характеристики;
- вимірювання затухання асиметрії;
- вимірювання імпульсних завад відповідно до норм 0.72;
- вимірювання частотного спектра сигналу.

На рис. 2.1 показано функціональну схему цифрового аналізатора кабельних ліній АТК-01.

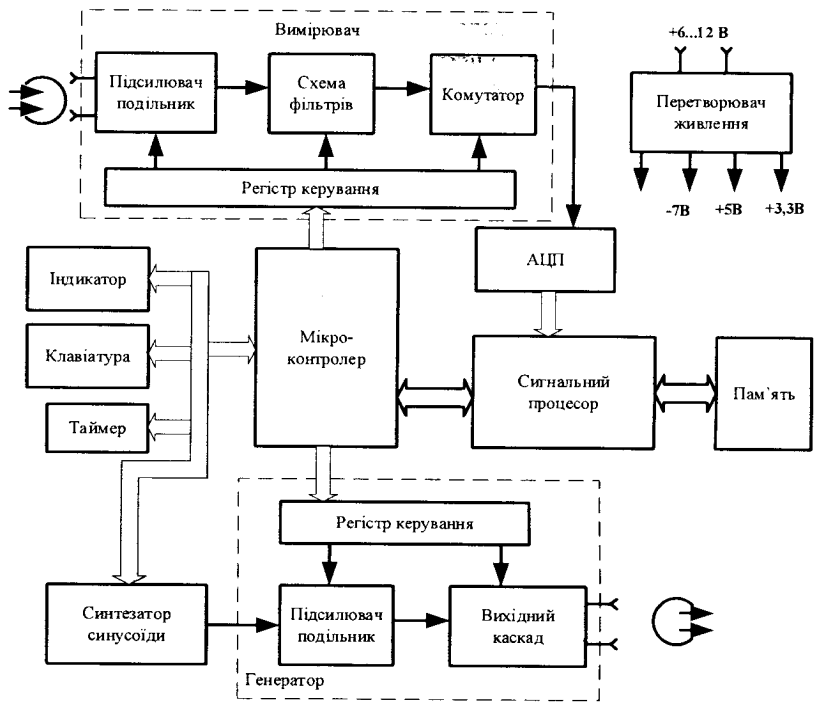
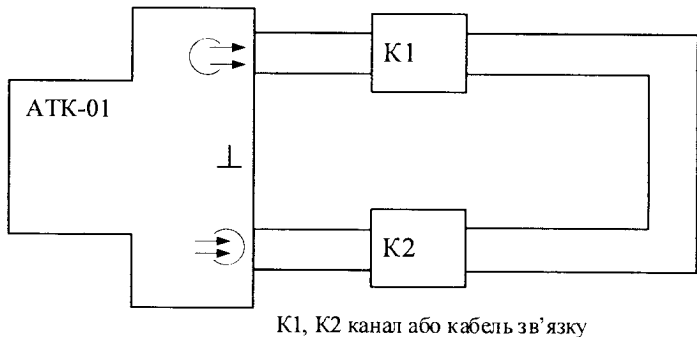


Рисунок 2.1 – Функціональна схема цифрового аналізатора кабельних ліній ATK-01

Основні схеми вимірювання за допомогою ATK-01 та відповідні режими роботи наведено на рисунках 2.2 – 2.8.



K1, K2 канал або кабель зв'язку

Рисунок 2.2 – Двопровідна схема вимірювання (режими: «затухання», «АЧХ», «сигнал/шум», «імпульсні завади», «спектральний аналіз»)

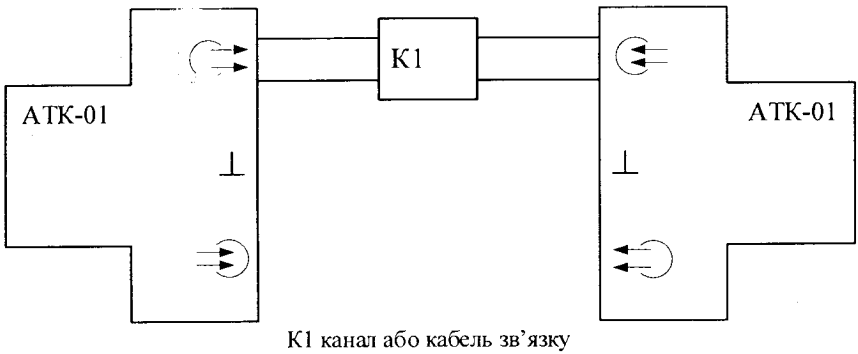


Рисунок 2.3 – Схема вимірювання з одного кінця в інший (режими: «затухання», «сигнал/шум», «імпульсні завади», «спектральний аналіз»)

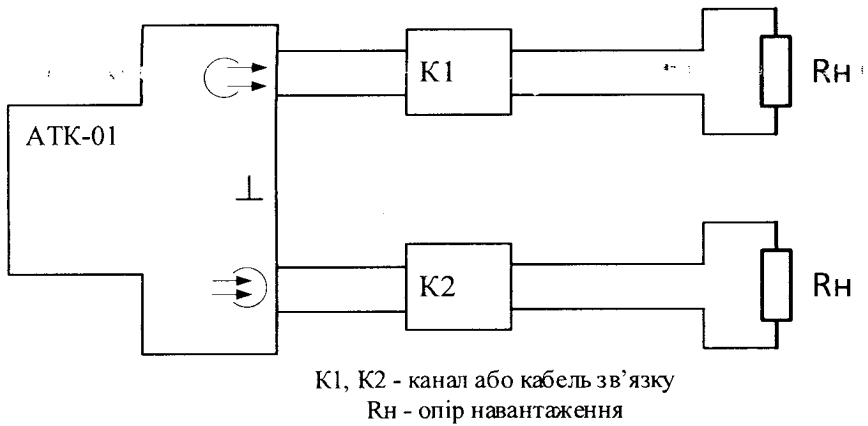


Рисунок 2.4 – Схема вимірювання перехідного затухання на ближньому кінці (режим «затухання» при ввімненому вибіркового фільтрі)

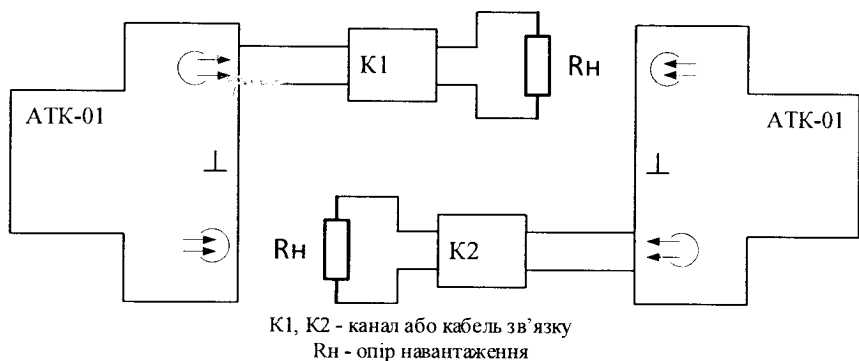


Рисунок 2.5 – Схема вимірювання перехідного затухання на дальньому кінці (режим «затухання» при ввімненому вибіркового фільтрі)

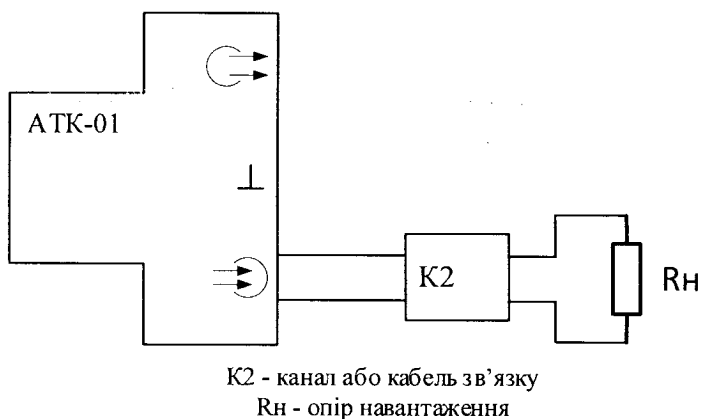
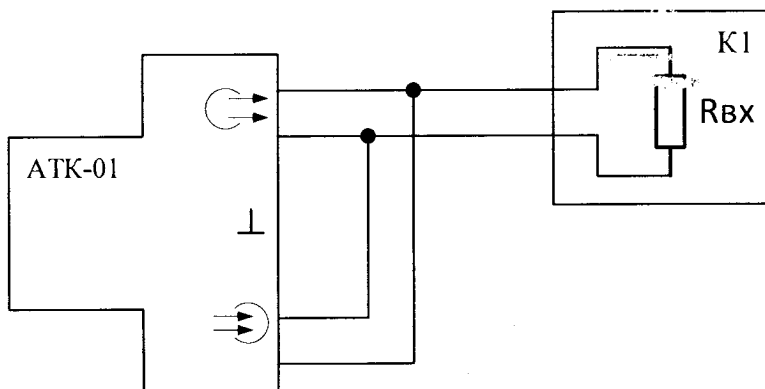
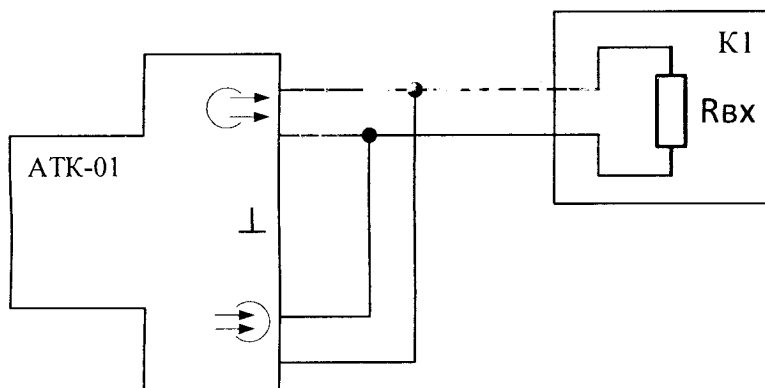


Рисунок 2.6 – Схема вимірювання шуму, імпульсних завод (режими: «затухання», «імпульсні заводи», «спектральний аналіз»)



К1 - канал або кабель зв'язку
 R_n - вхідний імпеданс каналу

Рисунок 2.7 – Схема вимірювання вхідного імпедансу
 (режим «ІЧХ»)



К1 - канал або кабель зв'язку
 R_n - вхідний імпеданс каналу

Рисунок 2.8 – Схема вимірювання затухання асиметрії
 (режим «Затухання асиметрії»)

На рис. 2.9 показано зовнішній вигляд цифрового аналізатора кабельних ліній АТК-01.

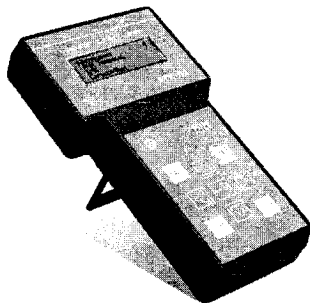


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд багатофункціонального приладу для тестування кабелю ATK-01

Після виконання стандартної процедури встановлення з'єднання з приладом ATK-01, на екрані ПК виводиться основне меню термінальної програми ATK v1.1, загальний вигляд якого показано на рис. 2.10.

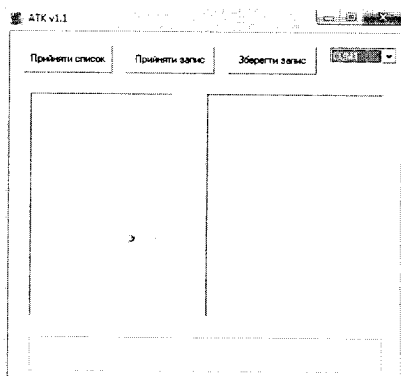


Рисунок 2.10 – Основне меню термінальної програми ATK для взаємодії з ATK-01

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Використовуючи технічний опис та інструкцію з експлуатації ATK-01, ознайомитись із правилами роботи з ATK-01 та термінальною програмою ATK v1.1.

Виконати порівняльний аналіз варіантів побудови системи передачі даних (довжини елементарної кабельної ділянки та загальної умовної собівартості ЦСП) на основі симетричного, коаксіального та волоконно-оптичного кабелів згідно з вихідними даними в таблицях 2.1, 2.2, 2.3 [4, 5].

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для порівняльного аналізу варіантів побудови системи передачі даних

Варіант	V, Мбіт/с	a _{доп} , дБ	Варіант	V, Мбіт/с	a _{доп} , дБ
1	1000	9,00	21	5100	34,0
2	3500	10,25	22	5350	35,25
3	6000	11,50	23	5600	36,50
4	8500	12,75	24	5850	37,75
5	1100	14,00	25	6100	39,00
6	1350	15,25	26	6350	40,25
7	1100	16,50	27	6600	41,50
8	1600	17,75	28	6850	42,75
9	1850	19,00	29	7100	44,00
10	2100	20,25	30	7350	45,25
11	2350	21,50	31	7600	46,50
12	2600	22,75	32	7850	47,75
13	2850	24,00	33	8100	49,00
14	3100	25,25	34	8350	50,25
15	3350	26,50	35	8600	51,50
16	3600	27,75	36	8850	52,75
17	3850	29,00	37	9100	54,00
18	4100	30,25	38	9350	55,25
19	4350	31,50	39	9600	56,50
20	4850	32,75	40	9850	57,75

Характеристики симетричного кабелю наведено в таблиці 2.2 [4, 5].

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку параметрів ЦСП на основі симетричного кабелю

Параметри симетричного кабелю	Позначення	Значення
Діаметр провідника крученої пари, мм	d	0,52
Діаметр провідника крученої пари в ізоляції, мм	d ₁	1,0
Загальний діаметр групи провідників крученої пари, мм	d _r	6,0
Відстань між провідниками, мм	a	0,96
Крок скрутки провідників крученої пари, мм	h	13
Параметр скрутки	p _c	4
Діелектрична проникність ізоляції провідника крученої пари	ε	2,3
Тангенс кута діелектричних втрат ізоляції провідника крученої пари	tgδ	2·10 ⁻⁴
Опір ізоляції провідника витой пари, Ом/км	R _{із}	5·10 ⁹

Характеристики коаксіального кабелю наведено в таблиці 2.3 [4, 5].

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розрахунку параметрів ЦСП на основі коаксіального кабелю

Параметри коаксіального кабелю	Позначення	Значення
Радіус центрального провідника, мм	r_a	3,15
Радіус зовнішнього провідника, мм	r_b	13,72
Діелектрична проникність ізоляції коаксіального кабелю	ϵ	2,3
Тангенс кута діелектричних втрат ізоляції коаксіального кабелю	$\text{tg}\delta$	$3 \cdot 10^{-4}$
Опір ізоляції коаксіального кабелю, Ом/км	R_{iz}	$6 \cdot 10^9$

Характеристики волоконно-оптичного кабелю наведено в таблиці 2.4 [4, 5].

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку параметрів ЦСП на основі ВОЛЗ

Параметри волоконно-оптичного кабелю	Позначення	Значення
Тангенс кута діелектричних втрат	$\text{tg}\delta$	$2 \cdot 10^{-4}$
Діаметр оболонки, мкм	b	125
Коефіцієнт заломлення осердя оптичного волокна	n_1	1,47
Коефіцієнт заломлення оболонки оптичного волокна	n_2	1,46
Коефіцієнт розсіювання матеріалу осердя ОВ	K_p	1,3
Радіус макровигину, мм	R_b	300
Кількість макровигинів на 1 км ВОЛЗ	$N_{\text{мак.в}}$	50
Радіус мікровигину, мм	h	0,1
Кількість мікровигину на 1 км ВОЛЗ	$N_{\text{мік.в}}$	100
Діаметр осердя оптичного волокна, мкм	a	9
Робоча довжина хвилі, мкм	λ	1,33
Ширина спектра джерела оптичного сигналу, мкм	$\Delta\lambda$	0,03
Параметр матеріальної дисперсії	$d^2n_1/d\lambda^2$	-0,3

Виконати порівняння коефіцієнтів згасання, довжин ділянок регенерації та загальної собівартості ЦСП. Зробити загальний висновок про особливості вибору оптимальної лінії зв'язку та доцільність її використання для реалізації ЦСП.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 2.11 наведено структурну схему лабораторного стенда для визначення параметрів кабельних ліній напрямних систем електричного зв'язку за допомогою аналізатора АТК-01. Для нормальної роботи програми керування необхідний РС з такою конфігурацією: Центральний процесор: Pentium 1200 МГц. Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP. Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 80 ГБ. Монітор: VGA. (1024×768). Миша / Клавіатура. Інтерфейс COM – Port RS-232 або USB-2.0.

Спочатку за допомогою нуль-модемного кабелю або перетворювача USB to COM необхідно підключити ПК до аналізатора АТК-01. Після цього підключаємо аналізатор до лінії передавання. Підключення до лінії, яку необхідно протестувати, виконується стандартним способом, який використовується для переважної кількості тестів та вимірювань. Правила підключення аналізатора до ліній електричного зв'язку вказано у рекомендаціях користувачу приладом АТК-01 [3]. Запускаємо на ПК термінальну програму АТК v1.1 для взаємодії з АТК-01. Вмикаємо аналізатор та запускаємо термінальну програму, в якій вибираємо тип підключення – COM1. При вдалому підключенні отримуємо підтвердження у вікні результатів термінальної програми.

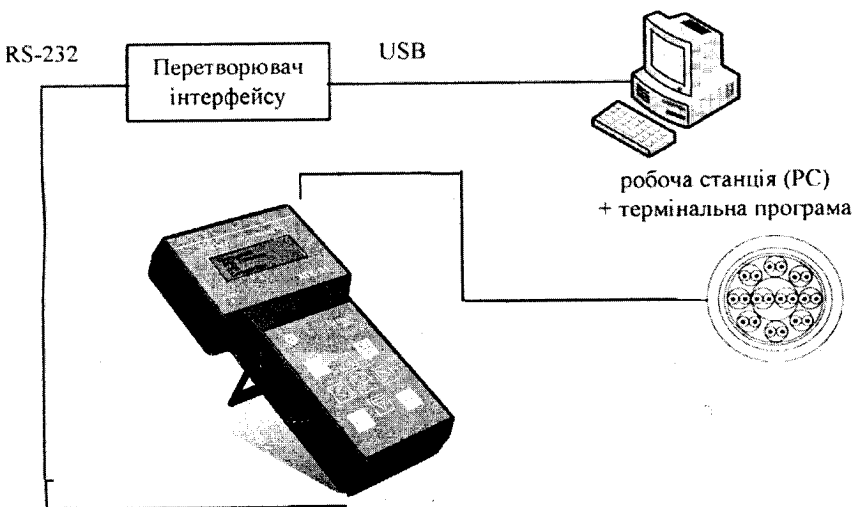


Рисунок 2.11 – Структурна схема лабораторного стенда для визначення параметрів кабельних ліній напрямних систем електричного зв'язку

Порядок виконання роботи

2.1 Виконати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку з використанням основного режиму вимірювання «Затухання». Для цього необхідно за допомогою функціональної клавіші Режим відкрити меню вибору режимів роботи приладу АТК-01. В цьому меню за допомогою функціональних клавіш «+» та «-» необхідно вибрати опцію Затухання та підтвердити вибір за допомогою функціональних клавіш «<>» або «>>». Після цього в робочому меню Затухання до початку вимірювань необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.5. Результати вимірювання записати до табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електров'язку за допомогою цифрового аналізатора в діапазоні до 550 МГц

№ вар	Тип ШКЛ	Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу генератора		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні частот 550 кГц												
		R _{вих}	R _{вх}	дБ	В	20	40	80	100	150	200	260	300	340	400	450	500	545
1	ШКЛ1 (п. 3)	600	600	3														
				8														
	ШКЛ1 (п. 7)	150	150	6														
2	ШКЛ2 (п. 2)	150	150	2														
				7														
	ШКЛ2 (п. 8)	600	600	4														
3	ШКЛ1 (п. 4)	120	120	5														
				9														
	ШКЛ1 (п. 10)	120	120	1														
3	ШКЛ1 (п. 8)	150	150	5														
				8														
	ШКЛ1 (п. 10)	600	600	10														
				4														

Вибір значення вихідних даних виконується за допомогою функціональної клавіші Маркер. Заміна значень виконується за допомогою функціональних клавіш «+» і «-» та «<» або «>».

За результатами табл. 2.5 необхідно визначити значення коефіцієнта робочого затухання кабельних ліній. Для цього необхідно використовувати формулу:

$$\alpha_3 = U_{\text{вих(ген)}} - U_{\text{вх(вим)}}$$

За результатами розрахунків побудувати залежності значень коефіцієнта робочого затухання від частоти.

2.2 Виконати вимірювання коефіцієнта робочого затухання в розширеному діапазоні частот (2,1 МГц). Для цього спочатку необхідно вибрати широкосмуговий робочий режим та ввести вихідні дані, аналогічно методиці п. 2.1 згідно з табл. 2.6.

За результатами табл. 2.6 необхідно визначити значення коефіцієнта робочого затухання кабельних ліній, аналогічно методиці п. 2.1. За результатами розрахунків побудувати залежності значень коефіцієнта робочого затухання від частоти.

Таблиця 2.6 – Результати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку за допомогою цифрового аналізатора в діапазоні до 2,1 МГц

№ вар	Тип ШКЛ	Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу генератора		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні частот 2,1 МГц													
		R _{вих}	R _{вх}	дБ	В	0,6	0,75	0,9	1	1,2	1,35	1,5	1,65	1,8	1,9	2	2,1		
1	ШКЛ2 (п. 3)	120	120	2															
				8															
	ШКЛ2 (п. 7)	150	150	3															
				7															
	ШКЛ2 (п. 9)	120	120	4															
				10															
2	ШКЛ1 (п. 2)	150	50к	1															
				6															
	ШКЛ1 (п. 8)	120	120	5															
				11															
	ШКЛ1 (п. 11)	120	120	7															
				5															
3	ШКЛ2 (п. 4)	7	120	8															
				10															
	ШКЛ2 (п. 8)	150	150	4															
				0															
	ШКЛ2 (п. 10)	7	150	2															
				5															

2.3 Виконати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку з використанням автоматичного режиму вимірювання «АЧХ Тональн» в діапазоні тональних частот.

Для цього необхідно за допомогою функціональної клавіші «Режим» відкрити меню вибору режимів роботи приладу АТК-01. В цьому меню за допомогою функціональних клавіш «+» та «-» необхідно вибрати опцію АЧХ Тональн. та підтвердити вибір за допомогою функціональних клавіш «<» або «>». Після цього в робочому меню АЧХ Тональн. до початку вимірювань необхідно ввести вихідні дані відповідно до табл. 2.7.

Результати вимірювання записати до табл. 2.7.

За результатами табл. 2.7 необхідно визначити значення коефіцієнта робочого затухання кабельних ліній в діапазоні тональних частот, аналогічно методиці п. 2.1.

За результатами розрахунків побудувати залежності значень коефіцієнта робочого затухання від частоти.

Таблиця 2.7 – Результати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку за допомогою цифрового аналізатора з використанням автоматичного режиму в діапазоні тональних частот

№ вар	Тип ШКЛ	Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу генератора		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні 9 тональних частот									
		R _{вих}	R _{вх}	дБ	В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	ШКЛ1 (п. 8)	600	600	3											
				7											
		150	150	9											
				4											
		120	120	6											
				2											
2	ШКЛ2 (п. 9)	120	120	8											
				1											
		150	150	5											
				3											
		600	600	7											
				9											
3	ШКЛ2 (п. 2)	600	600	4											
				6											
		150	150	2											
				8											
		120	120	1											
				5											

2.4 Виконати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку з використанням автоматичного режиму вимірювання «АЧХ» в діапазоні частот до 550 кГц. Для цього необхідно за допомогою функціональної клавіші «Режим» відкрити меню вибору режимів роботи приладу АТК-01. В цьому меню за допомогою функціональних клавіш «+» та «-» необхідно вибрати опцію АЧХ та підтвердити вибір за допомогою функціональних клавіш «<» або «>». Після цього в робочому меню АЧХ до початку вимірювань необхідно ввести вихідні дані відповідно до табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку за допомогою цифрового аналізатора з використанням автоматичного режиму в діапазоні частот до 550 кГц

№ вар	Тип ШКЛ	Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу генератора		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні до 550 кГц								
		R _{вих}	R _{вх}	дБ	В	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ШКЛ1	600	600	8										
				4										
				2										
				6										
2	ШКЛ2	150	150	1										
				5										
				7										
				10										
3	ШКЛ1	120	120	3										
				7										
				9										
				11										

Результати вимірювання записати до табл. 2.8.

За результатами табл. 2.8 необхідно визначити значення коефіцієнта робочого затухання кабельних ліній в діапазоні тональних частот, аналогічно методиці п. 2.1. За результатами розрахунків побудувати залежності значень коефіцієнта робочого затухання від частоти.

2.5 Виконати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку з використанням автоматичного режиму вимірювання «АЧХ» в діапазоні частот до 550 кГц. Для цього необхідно за допомогою функціональної клавіші Режим відкрити меню вибору режимів роботи приладу АТК-01. В цьому меню за допомогою функціональних клавіш «+» та «-» необхідно вибрати опцію АЧХ та підтвердити вибір за допомогою функціональних клавіш «<» або «>». Після цього в робочому меню АЧХ до початку вимірювань необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.9. Результати вимірювання записати до табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Результати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку за допомогою цифрового аналізатора з використанням автоматичного режиму в діапазоні частот від 550 кГц до 2,1 МГц

№ вар	Тип ШКЛ	Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу генератора		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні від 550 кГц до 2,1 МГц									
		R _{вих}	R _{вх}	дБ	В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	ШКЛ2	150	150	3											
				6											
				9											
				11											
2	ШКЛ1	120	120	2											
				4											
				7											
3	ШКЛ2	150	150	1											
				5											
				8											
				12											

За результатами табл. 2.9 необхідно визначити значення коефіцієнта робочого затухання кабельних ліній в діапазоні тональних частот аналогічно методиці п. 2.1. За результатами розрахунків побудувати залежності значень коефіцієнта робочого затухання від частоти.

2.6 Виконати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку з використанням автоматичного режиму вимірювання «АЧХ Тональн» в діапазоні тональних частот. Для цього необхідно за допомогою функціональної клавіші Режим відкрити меню вибору режимів

роботи приладу АТК-01. В цьому меню за допомогою функціональних клавіш «+» та «-» необхідно вибрати опцію АЧХ та підтвердити вибір за допомогою функціональних клавіш «<» або «>». Після цього в робочому меню АЧХ до початку вимірювань необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.10. Результати вимірювання записати до табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Результати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку за допомогою цифрового аналізатора з використанням автоматичного режиму в діапазоні тональних частот до 550 кГц

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення сигналу генератора		Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні частот 550 кГц (на 15 заданих частотах)														
		дБ	В	R _{вих}	R _{вх}															
1	Кабель №1	3		150	150															
		9		600	600															
2	Кабель №2	1		120	120															
		6		600	600															
3	Кабель №3	4		120	120															
		10		150	150															

Вибір значення вихідних даних виконується за допомогою функціональної клавіші Маркер. Заміна значень виконується за допомогою функціональних клавіш «+» і «-» та «<» або «>».

За результатами табл. 2.10 необхідно визначити значення коефіцієнта робочого затухання кабельних ліній. Для цього необхідно використовувати формулу:

$$\alpha_3 = U_{\text{вих(ген)}} - U_{\text{вх(вим)}}$$

За результатами розрахунків побудувати залежності значень коефіцієнта робочого затухання від частоти.

2.7 Виконати вимірювання коефіцієнта робочого затухання в розширеному діапазоні частот (2,1 МГц). Для цього, спочатку необхідно вибрати широкосмуговий робочий режим та ввести вихідні дані аналогічно методиці п. 2.1 згідно з табл. 2.11.

За результатами табл. 2.11 необхідно визначити значення коефіцієнта робочого затухання кабельних ліній, аналогічно методиці п. 2.1. За результатами розрахунків побудувати залежності значень коефіцієнта робочого затухання від частоти.

Таблиця 2.11 – Результати вимірювання значення робочого затухання кабельної лінії електрозв'язку за допомогою цифрового аналізатора з використанням автоматичного режиму в розширеному діапазоні частот до 2,1 МГц

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення сигналу генератора		Значення опору ген. та опору вимір. Ом		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні частот 2.1 МГц (на 21 заданій частоті)														
		дБ	В	R _{вих}	R _{вх}															
1	Кабель №3	2		150	150															
		7		120	120															
2	Кабель №1	5		120	120															
		10		150	150															
3	Кабель №2	4		120	120															
		8		150	150															

2.8 Виконати вимірювання значення перехідного затухання кабельної лінії електрозв'язку на ближньому кінці з використанням основного режиму вимірювання «Затухання» та схеми підключення приладу як на рис. 2.4. Для цього необхідно за допомогою функціональної клавіші Режим відкрити меню вибору режимів роботи приладу АТК-01. В цьому меню за допомогою функціональних клавіш «+» та «-» необхідно вибрати опцію Затухання та підтвердити вибір за допомогою функціональних клавіш «<» або «>». Після цього в робочому меню Затухання до початку вимірювань необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.12. Результати вимірювання записати до табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Результати вимірювання значення перехідного затухання кабельної лінії електрозв'язку на ближньому кінці з використанням основного режиму вимірювання в діапазоні тональних частот до 550 кГц

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу генератора		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні частот 550 кГц														
		R _{вих}	R _{вх}	дБ	В	20	70	140	180	220	280	320	410	500	550					
1	Кабель без переходів	600	600	5																
				9																
	Кабель №1 з переходами (п. 7)	150	150	4																
				8																
2	Кабель без переходів	150	150	3																
				10																
	Кабель №2 з переходами (п. 5)	600	600	2																
				7																
3	Кабель без переходів	120	120	1																
				6																
	Кабель №3 з переходами (п. 1)	600	600	4																
				7																

За результатами табл. 2.12 необхідно визначити значення перехідних впливів в кабельних лініях в діапазоні тональних частот за виразом

$$\alpha_{пз} = U_{вих(кл1)} - U_{вх(кл2)}$$

За результатами розрахунків побудувати залежності значень перехідних впливів від робочої частоти.

2.9 Виконати вимірювання значення перехідного затухання кабельної лінії електрозв'язку на ближньому кінці з використанням основного режиму вимірювання «Затухання» та схеми підключення приладу як на рис. 2.4. Для цього необхідно за допомогою функціональної клавіші Режим відкрити меню вибору режимів роботи приладу АТК-01. В цьому меню за допомогою функціональних клавіш «+» та «-» необхідно вибрати опцію Затухання та підтвердити вибір за допомогою функціональних клавіш «<» або «>». Після цього в робочому меню Затухання до початку вимірювань необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.13. Результати вимірювання записати до табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати вимірювання значення перехідного затухання кабельної лінії електрозв'язку на ближньому кінці з використанням основного режиму вимірювання в розширеному діапазоні частот до 2,1 МГц

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигналу генератора		Значення сигналу на вході вимірювача (дБ) в діапазоні частот 2,1 МГц										
		R _{вих}	R _{жк}	дБ	В	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	
1	Кабель без переходів	150	150	1												
				7												
	Кабель №2 з переходами (п. 7)	120	120	3												
2	Кабель без переходів	120	120	2												
				8												
	Кабель №3 з переходами (п. 5)	120	120	4												
3	Кабель без переходів	150	150	3												
				7												
	Кабель №1 з переходами (п. 1)	150	150	4												
				7												

За результатами табл. 2.13 необхідно визначити значення перехідних впливів в кабельних лініях в розширеному діапазоні частот, аналогічно методиці п. 2.3. За результатами розрахунків побудувати залежності значень перехідних впливів від робочої частоти.

2.10 Виконати вимірювання відношення рівня сигналу до рівня шумів на вході вимірювача рівня згідно з двопровідною схемою вимірювання як на рис. 2.2. Спочатку в робочому меню «Сигнал/Шум» необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.14. Результати вимірювання записати до табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Результати вимірювання відношення рівня сигналу до рівня шумів на вході вимірювача рівня відповідно до двопровідної схеми вимірювання в діапазоні тональних частот до 550 кГц.

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення сигналу генератора		Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигнал/шум (дБ) в діапазоні частот 550 кГц					
		дБ	В	R _{вх}	R _{вх}	20	100	200	300	400	500
1	Кабель №2	-3		600	600						
		-9		150	150						
2	Кабель №3	-1		120	120						
		-6		120	120						
3	Кабель №1	-4		150	150						
		-10		600	600						

За результатами вимірювань, що в табл. 2.14, побудувати залежності значень сигнал/шум від робочої частоти.

2.11 Виконати вимірювання відношення рівня сигналу до рівня шумів на вході вимірювача рівня згідно з двопровідною схемою вимірювання як на рис. 2.2. Для цього спочатку в робочому меню «Сигнал/Шум» необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.15. Результати вимірювання записати до табл. 2.15.

Таблиця 2.15 – Результати вимірювання відношення рівня сигналу до рівня шумів на вході вимірювача рівня відповідно до двопровідної схеми вимірювання в розширеному діапазоні робочих частот до 2,1 МГц

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення сигналу генератора		Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення сигнал/шум (дБ) в діапазоні частот 2,1 МГц									
		дБ	В	R _{вх}	R _{вх}	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,1
1	Кабель №1	-2		150	150										
		-7		120	120										
2	Кабель №3	-5		120	120										
		-10		150	150										
3	Кабель №2	-4		120	120										
		-8		150	150										

За результатами вимірювань, що в табл. 2.15, побудувати залежності значень сигнал/шум від робочої частоти.

2.12 Виконати спектральний аналіз кабельної лінії згідно зі схемою вимірювання як на рис. 2.12. Спочатку в робочому меню «Спектральний аналіз» необхідно ввести вихідні дані згідно з табл. 2.16. Результати вимірювання записати до табл. 2.16. За результатами вимірювань, що в табл. 2.16, побудувати спектр сигналу в кабельній лінії електрозв'язку.

Таблиця 2.16 – Результати спектрального аналізу кабельної лінії в діапазоні тональних частот до 550 кГц

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення сигналу генератора		Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення спектральних складових вихідного тестового сигналу в діапазоні частот 550 кГц					
		дБ	В	R _{вх}	R _{вх}	20	100	200	300	400	500
1	Кабель №1	-13		600	600						
		-19		150	150						
2	Кабель №2	-11		120	120						
		-16		120	120						
3	Кабель №3	-14		150	150						
		-11		600	600						

2.13 Виконати спектральний аналіз кабельної лінії згідно зі схемою вимірювання як на рис. 2.6. Для цього спочатку в робочому меню «Спектральний аналіз» необхідно ввести вихідні дані з табл. 2.17. Результати вимірювання записати до табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Результати спектрального аналізу кабельної лінії в розширеному діапазоні робочих частот до 2,1 МГц

№ вар	Тип симетричного кабелю	Значення сигналу генератора		Значення опору ген. та опору вимір., Ом		Значення спектральних складових вихідного тестового сигналу в діапазоні частот 2,1 МГц										
		дБ	В	$R_{внх}$	$R_{вх}$	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,1	
1	Кабель №2	-12		150	150											
		-17		120	120											
2	Кабель №3	-15		120	120											
		-11		150	150											
3	Кабель №1	-14		120	120											
		-18		150	150											

За результатами вимірювань, що в табл. 2.17, побудувати спектр сигналу в кабельній лінії електрозв'язку.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, значення розрахованих параметрів передачі для заданих значень частот сигналу, графіки залежностей параметрів передачі від частоти, висновки за отриманими формами залежностей, табличні та графічні результати виконаних широкосмугових тестувань електричних параметрів кабельних пар систем електричного зв'язку. Загальний висновок щодо придатності до експлуатації ділянки кабельної лінії передавання.

Контрольні запитання

1. Вказати типи та пояснити методику визначення вторинних параметрів симетричних кабельних ліній електрозв'язку.
2. Пояснити призначення приладу АТК-01 та його функціональні можливості.
3. Пояснити принцип дії та функціональну схему АТК-01.
4. Пояснити методику вимірювання коефіцієнта робочого затухання за допомогою приладу АТК-01.
5. Пояснити призначення термінальної програми для приладу АТК-01.
6. Порівняти функціональні можливості АТК-01 та RD6000DSL.

Лабораторна робота № 3

Тема: дослідження параметрів напрямних систем оптичного зв'язку та характеристик оптичного волокна.

Мета роботи: виконати дослідження параметрів напрямних систем оптичного зв'язку та характеристик оптичного волокна.

- Обладнання:**
1. Зразки кабелів електровз'язку;
 2. Цифровий аналізатор ВОЛЗ НР Е6000В;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Оптичне волокно (ОВ) відноситься до класу діелектричних хвильоводів, робота яких основана на принципі повного внутрішнього відбиття. Розрізняють такі групи ОВ: багатомодове, одномодове без збереження поляризації оптичних сигналів, одномодове із збереженням поляризації оптичних сигналів. При цьому групу багатомодових ОВ можна поділити на дві підгрупи: із ступінчастим та градієнтним профілями показника заломлення. Залежно від типу матеріалів осердя та оболонки ОВ можна поділити на види:

- 1 – осердя та оболонка кварцові;
- 2 – кварцове осердя, оболонка полімерна;
- 3 – осердя та оболонка з багатокомпонентного скла;
- 4 – осердя та оболонка з полімерного матеріалу;
- 5 – інші варіанти.

В таблиці 3.1 наведено основні характеристики одномодових ОВ, що випускаються відповідно до вимог рекомендацій ІТУ-Т: G.652, G.653, G.655.

Вимірювання параметрів одномодових оптичних волокон (ООВ) виконують на двох довжинах хвиль 1,31 мкм та 1,55 мкм. Величина затухання визначається регламентувальними документами для кожного типу ОВ. Для стандартного ОВ згідно з рекомендаціями G.652 ІТУ-Т максимальне значення кілометричного затухання дорівнює 0,4 дБ/км для $\lambda_p = 1,31$ мкм та 0,3 дБ/км для $\lambda_p = 1,55$ мкм.

Для визначення оптичної довжини ОВ необхідно підключити досліджуване ОВ до оптичного рефлектометра (ОР). На ОР потрібно встановити необхідну довжину зондувальних імпульсів та відповідний діапазон аналізованих відстаней ОВ.

Оптична довжина ОВ визначається як різниця між сплесками френелівського відбиття від кінців вимірюваного ОВ на екрані ОР (рис. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристики одномодових ОВ

Фірма		Lucent Technologies			
Фірмове позначення		SM-9/125	A11 Wave	TrueWave	TrueWave RS
Тип волокна		SSF	NZDSF	NZDSF	NZDSF
Відповідність ITL -T		G.652	G.655	G.655	G.655
Геометричні розміри					
Діаметр модової плями, мкм, на довжині хвилі	- 1310 нм	9,3 ± 0,5	9,3 ± 0,5	-	-
	- 1550 нм	10,5 ± 1,0	10,5 ± 1,0	8,4 ± 0,6	8,4 ± 0,6
Довжина хвилі відсічки, нм	- у волокні	1150— 1350	-	-	-
	- у кабелі	< 1260	< 1260	< 1260	< 1260
Діаметр оболонки, мкм		125,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0
Діаметр покриття, мкм		245,0 ± 10	245,0 ± 10	245,0 ± 1,0	245,0 ± 1,0
Дисперсія					
Довжина ХВИЛІ нульової дисперсії, нм		1300 + 1322 1312(нм)	1300+1322	1540 4- 1560	> 1450
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)		< 18 (1550 нм)	-	0,8 4-4,6 550 нм	-9(1310) нм 4,52 (1550нм)
Поляризаційна модова дисперсія, пс/√e		<0,2	<0,5	<0,5 (1550 нм)	<0,5 <1550 нм)
Загасання дБ/км					
Максимальне на довжині хвилі	- 1310 нм	0,35 4-0,40	0,35 4-0,40	-	-
	- 1550 нм	0,21 4-0,30	0,21 4-0,25	0,2 4-0,25	0,22 4-0,25
Мах. у діапазоні 1285 – 1330 нм перевищує загасання на $\lambda = 1310$ нм		Менше ніж на 0,1	Менше ніж на 0,1	-	-
Мах. у діапазоні 1525 – 1575 нм перевищує загасання на $\lambda = 1550$ нм		Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,3	Менше ніж на 0,27-0,3
Загасання в піку ОН (1383 ± 3) нм		<2,0	< 0,31	<1,0	<2,0
Додаткові характеристики					
Сила зняття покриття, ОН		1,3...8,9	1,3...8,9	1,3...8,9	1,3...8,9
Ефективний груповий показник заломлення	- 1310 нм	1,466	1,466	1,4738	1,471
	- 1550 нм	1,467	1,467	1,4732	1,470
Числова апертура		0,12	-	-	-
Різниця показників заломлення, %		0,33	-	0,75	-
Профіль показника заломлення		сходінка	-	трикутник	-
Робочі вікна прозорості, нм		1310/1550	1285-1620	1530-1560	1525-1620

Продовження таблиці 3.1

Фірма		Coming			
Фірмове позначення		LEAF	SMF-LS	ОБ з SMF-28	ОБ Titan
Тип волокна		NZDSF	NZDSF	SSF	SSF
Відповідність ITU-T		G.655	G.655	G.652	G.652
Геометричні розміри					
Діаметр модової плями, мкм, на довжині хвилі	- 1310 нм	-	6,6	9,3 ± 0,5	9,3 ± 0,5
	- 1550 нм	9-Ю	8,4 ± 0,5	10,5 ± 1,0	10,5 ± 1,0
Довжина хвилі відсічки, нм	-у волокні				
	-у кабелі	< 1260	< 1260	< 1260	< 1260
Діаметр оболонки, мкм		125,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0
Діаметр покриття, мкм		245,0 ± 1,0	245,0 ± 1,0	245,0 ± 1,0	245,0 ± 1,0
Дисперсія					
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		-	1530-1560	1301,5 1321,5 1312 (ном)	1301,5 1321,5 1312 (ном)
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)		-	-	1,0-6,0 1530- 1565нм	(-0,1) -(-3,5) (1550нм)
Поляризаційна модова дисперсія, пс/ \sqrt{e}		<0,2 (1550 нм)	<0,5 (1550 нм)	<0,5	<0,5
Загасання дБ/км					
Максимальне на довжині хвилі	-1310 нм	<0,5	<0,5	<0,34	<0,40
	-1550 нм	< 0,25	<0,25	<0,2	<0,30
Мах. у діапазоні 1285 – 1330 нм перевищує загасання на $\lambda = 1310$ нм		-	-	Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,05
Мах. у діапазоні 1525–1575 нм перевищує загасання на $\lambda = 11550$ нм		Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,05
Загасання в піку ОН (1383±3 нм)		< 1,0	<2,0	<2,1	<2,1
Додаткові характеристики					
Ефективний груповий показник заломлення	- 1310 нм	-	1,471	1,4675	1,4675
	- 1550 нм	1,469	1,470	1,4681	1,4681
Числова апертура		-	0,16	0,13	0,13
Різниця показників заломлення, %		-	-	0,36	0,36
Профіль показника заломлення		трикутник	трикутник	сходинка	сходинка
Робочі вікна прозорості, нм		1530-1625	1530-1560	1310/1550	1310/1550

Продовження таблиці 3.1

...

Фірма		Fujikura		
Фірмове позначення		SM-10/125	DSM-8/125	DSMNZ-9/125
Тип волокна		SSF	DSF	NZDSF
Відповідність ITU-T		G.652	G.653	G.655
Геометричні розміри				
Діаметр модової плями, мкм, на довжині хвилі	- 1310 нм	8,5-9,6	-	-
	- 1550 нм		8,1	9,5 ± 0,5
Довжина хвилі відсічки, нм	- у волокні	1180 - 1320	-	1450
	- у кабелі	-	-	-
Діаметр оболонки, мкм		125,0 ± 1,5	125,0 ± 1,0	125,0 ± 1,0
Діаметр покриття, мкм		245,0 ± 10	245,0 ± 10	245,0 ± 10
Дисперсія				
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		1301-1322	1525-1575	-
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм - км)		<3,5 (1285-1330 нм < 18(1550 нм)	3,5 (1525-1575 нм)	1,0-6,0 (1550 нм)
Поляризаційна модова дисперсія, пс/(нм - км)		-	<0,5	<0,5
Загасання, дБ/км				
Максимальне на довжині хвилі	- 1310 нм	< 0,34		< 0,45
	- 1550 нм	<0,22	<0,3	<0,25
Мах. у діапазоні 1285 ч- 1330 нм перевищує загасання на $\lambda = 1310$ нм		Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,05	-
Мах. у діапазоні 1525 нм- 1575 нм перевищує загасання на $\lambda = 1550$ нм		Менше ніж на 0,05	Менше ніж на 0,05	< 0,25
Загасання в піку ОН (1383 ± 3 нм)		< 1,0	<1,0	-
Додаткові характеристики				
Ефективний груповий показник заломлення	- 1310 нм	1,465	1,468	-
	- 1550 нм	1,465	1,468	1,469
Числова апертура		-	-	-
Різниця показників заломлення. %		0,36	-	-
Профіль показника заломлення		сходінка	-	-
Робочі вікна прозорості, нм		1300/1550	1310/1550	1310/1550



Рисунок 3.1 – Визначення оптичної довжини ОВ

Визначення коефіцієнта згасання ОВ можливе тільки на лінійній ділянці характеристики волокна. На цій ділянці не має бути сплесків від неоднорідностей ОВ, що викликають френелівське відбиття. Також необхідно виключити скачки згасання, що зумовлені дефектами ОВ та перехідні процеси. Характерна рефлектограма такого ОВ наведена на рисунку 3.2.

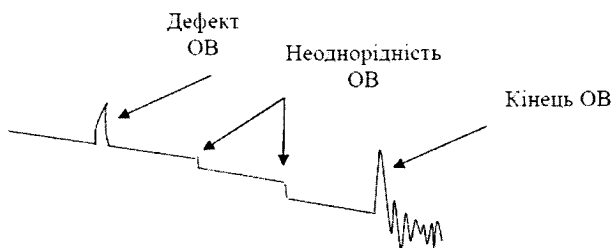


Рисунок 3.2 – Рефлектограма ОВ з дефектами осердя волокна

Для вимірювання згасання ОВ вибирається тільки ділянка, на якій рефлектограма має лінійний характер залежності потужності рівня сигналу від довжини волокна (рис. 3.3).

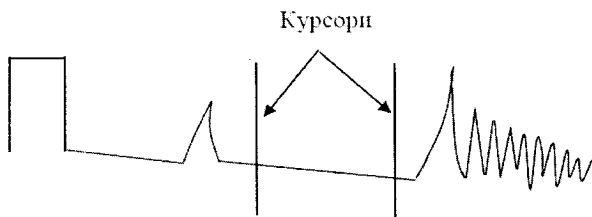


Рисунок 3.3 – Розташування курсорів при вимірюванні коефіцієнта згасання ОВ

Різниця у вимірі оптичних довжин всіх ОВ не може відрізнятись більше ніж на 0,15 %. Фізична довжина ВОК та оптична довжина ОВ не мають відрізнятись більше ніж на 2 %.

При будівництві лінійно-кабельних споруд волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) необхідні оптичні з'єднувачі для підключення обладнання кінцевих та проміжних станцій до ВОК і з'єднання будівельних довжин ВОК між собою.

Основними технічними вимогами до оптичних з'єднувачів є: низьке затухання та відбивання потужності оптичних сигналів, висока механічна міцність, нечутливість до впливу зовнішніх факторів, спрощений конструктив, низька собівартість, можливість монтажу в польових умовах.

На рисунку 3.4 графічно подано причини виникнення зовнішніх втрат при зварному з'єднанні ОВ. Точне з'єднання потребує відсутності поперечного та кутового зсуву, зазору між контактуючими волокнами, а також плоских і паралельних торців.

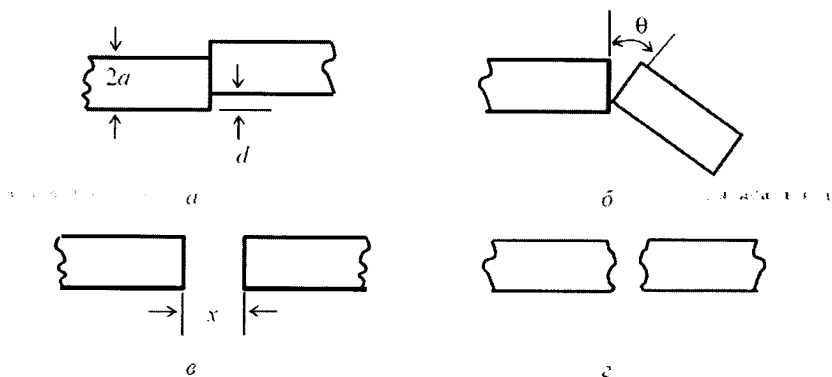


Рисунок 3.4 – Графічне подання причин виникнення втрат за зварного з'єднання ОВ: а – поперечне зміщення; б – кутове зміщення; в – зазор між торцями; г – шорсткість торців

Для багатомодових ступінчастих ОВ з діаметром осердя $2a$ (мкм) та числовою апертурою NA ефективність передавання потужності η (дБ) може бути розрахована за формулами (3.1-3.3):

а) для поперечного зміщення розміром d (мкм)

$$\eta_d = -10 \lg \left\langle \frac{2}{\pi} \left\{ \arccos \frac{d}{2a} - \frac{d}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2a} \right)^2} \right\} \right\rangle, \text{ дБ}; \quad (3.1)$$

б) для кутового зміщення розміром θ (радіан)

$$\eta_{\theta} = -10 \lg \left(1 - \frac{n_0 \theta}{\pi NA} \right), \text{ дБ}; \quad (3.2)$$

в) для зазора між торцями розміром x (мкм)

$$\eta_x = -10 \lg \left(1 - \frac{xNA}{4an_0} \right) \text{ дБ}, \quad (3.3)$$

де n_0 - показник заломлення середовища між торцями ОВ.

Існуючі оптичні з'єднувачі можна поділити на одинарні, дуплексні та багатоволоконні. Для виконання з'єднань найчастіше використовують стандартні з'єднувачі типу FC, ST, SC та ін., як показано на рисунку 3.5.

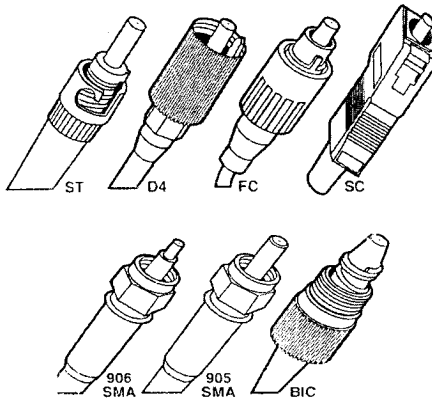


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд вилючних частин волоконно-оптичних з'єднувачів

Основні параметри різних оптичних з'єднувачів наведено в таблиці 3.2.

Показником якості рознімного з'єднувача є коефіцієнт передавання K_n оптичної потужності з одного волокна в інше, який пов'язаний зі значенням затухання виразом:

$$\alpha_n = 10 \lg \left(\frac{1}{K_n} \right), \quad (3.4)$$

де α_n - коефіцієнт затухання.

Таблиця 3.2 – Параметри різних оптичних з'єднувачів

Тип	Тип ОВ, матеріал штекера		Внесені втрати, лБ	Зворотні втрати, дБ	Число з'єднань-роз'єднань
FC/PC	ОМ. БМ		0,3	40	1000
	ОМ		0,3	40	1000
ST	БМ	Керамічний	0,3	-	1000
		Нержав. сталь	0,6		1000
		Пластик	0,7		250
SC	ОМ/І	ЗМ	0,3	40	1000
SAIA	БМ		1,5	-	200
BIC	ОМ. БМ		1,0	40	500
MIC (FDDI)	ОМ		0,3	35	500
	БМ		0,5		500
ESCON	БМ		0,5	35	500
DNP	БМ ОВ типу П/П		2,0	-	-
Сплайс	ОМ/БМ		0,2	40	-

Примітка. ОМ. БМ - одномодові й багатомодові ОВ, відповідно, П/П - оптичне волокно типу полімер/полімер. В одномодових з'єднувачах усіх типів використовуються керамічні штекери. Сплайс - нерознімний механічний з'єднувач.

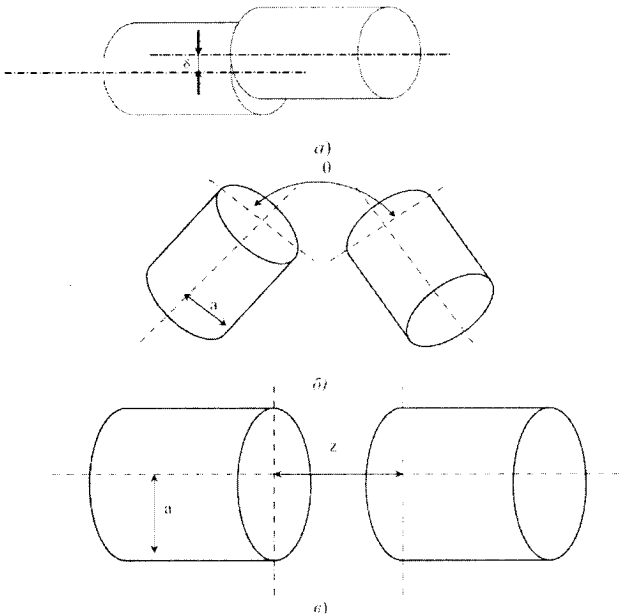


Рисунок 3.5 – а) радіальний зсув оптичних волокон;
 б) кутове розузгодження оптичних волокон;
 в) осьове розузгодження оптичних волокон

За ідеального узгодження ОВ $K_n = 1$.

Враховуючи під час узгодження наявність дефектів, викликаних радіальним, кутовим та осьовим зміщеннями волокон, коефіцієнт передавання можна визначити за виразами:

$$\begin{aligned} K_\delta &= 1 - \frac{L}{D}, \\ K_\theta &= 1 - \frac{\theta}{\theta_a}, \\ K_S &= 1 - \frac{\text{ctg}(\theta_a)}{2S}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

де K_δ , K_θ , K_S - коефіцієнти передавання за радіального, кутового та осьового зміщеннях ОВ;

L - радіальне зміщення;

D - діаметр ОВ;

θ , θ_a - кут зміщення та апертурний кут.

Причому $K_n = K_\delta \cdot K_\theta \cdot K_S$.

Затухання потужності оптичних сигналів в ОВ у складі ВОК зумовлено власними втратами потужності у волокні α_B та додатковими втратами α_D , що виникають в процесі складання ОВ у ВОК. Таким чином, коефіцієнт затухання ВОК можна визначити за формулою

$$\alpha = \alpha_B + \alpha_D. \quad (3.6)$$

Власні втрати потужності у кварцовому ОВ

$$\alpha_B = \alpha_{PP} + \alpha_{PM} + \alpha_{PC} + \alpha_{OH}, \quad (3.7)$$

де α_{PP} , α_{PM} , α_{PC} , α_{OH} - складові втрат, що зумовлені відповідно розсіюванням Релея (РР), поглинанням в матеріалі ОВ (ПМ), інфрачервоним поглинанням (ПЧ) та поглинанням на іонах ОН. При розрахунках складових α_B зручно використовувати наближені формули

$$\alpha_{PP} = \left(\frac{6,3 \cdot 10^{11}}{\lambda^4} \right) \cdot (1 + 215\Delta), \quad (3.8)$$

$$\alpha_{PM} = 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot e^{(4,63 \cdot 10^7/\lambda)}, \quad (3.9)$$

$$\alpha_{PC} = 7,81 \cdot 10^{11} \cdot e^{(-4,85 \cdot 10^7/\lambda)}, \quad (3.10)$$

Тут $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$, де n_1 та n_2 - показники заломлення осердя та оболонки ОВ, відповідно; λ підставляється в нм; результат отримуємо в дБ/км.

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Використовуючи формули 3.7 – 3.10 визначити значення власного коефіцієнта затухання кварцового волокна для довжин хвиль 850, 1310, 1550 нм за значень показників заломлення осердя n_1 та оболонки n_2 , наведених у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для виконання розрахунків

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_1	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
n_2	1,495	1,492	1,490	1,485	1,480	1,476	1,474	1,470	1,465	1,460

3. Для ВОЛЗ (рис. 3.4) знайти необхідне значення потужності джерела випромінювання (лазерного діода) для забезпечення заданого в таблиці 3.4 надлишкового рівня потужності системи.

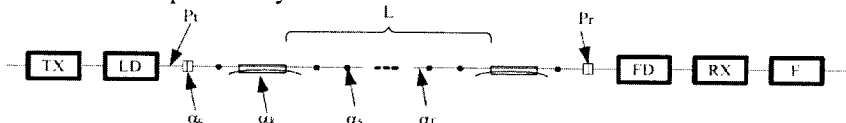


Рисунок 3.4 – Узагальнена схема волоконно-оптичної лінії зв'язку

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку параметрів волоконно-оптичної лінії зв'язку

№ варіанта	Запас за потужністю	Чутливість фотоприймача	Втрати на конекторі	Кількість конекторів	Втрати у відгалужуванні	Кількість відгалужувачів	Втрати на зрощування	Кількість зрощувань	Коефіцієнт загасання	Довжина волоконної ЛПНІ	Надлишкова потужність
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0,0001	0,5	5	0,4	8	0,045	56	1,6	45	2,4
	5	0,0002	0,3	6	0,7	7	0,035	5	2	67	3,2
	4	0,0005	0,7	8	0,65	6	0,067	4	1	54	2,5
	3	0,0004	0,5	9	0,7	5	0,08	87	2	78	3,2
2	7	0,0006	0,8	6	0,6	8	0,06	6	3	54	2,4
	8	0,0007	0,6	5	0,4	7	0,03	5	2	67	3,6
	5	0,0008	0,4	4	0,5	6	0,056	6	1	43	2,6
	4	0,0005	0,3	3	0,7	7	0,043	54	2	23	3,4
3	6	0,0006	0,6	2	0,8	8	0,02	54	3,9	54	2,1
	5	0,0004	0,7	8	0,6	6	0,04	6	2	31	3,09
	4	0,0006	0,56	7	0,5	5	0,05	7	1	25	2,8
	3	0,0004	0,4	6	0,6	7	0,06	89	2	12	3,12

4. Визначити енергетичний баланс ВОЛЗ відповідно до вихідних даних у таблиці 3.5. Для цього потрібно розрахувати значення зазору у волоконно-оптичному атенуаторі для досягнення заданого затухання у ВОЛЗ. Кутівим та радіальним неузгодженнями можна знехтувати.

Таблиця 3.5 – Вихідні дані для розрахунку енергетичного балансу ВОЛЗ

№ варіанта	Тип волокна	Апертурний кут, θ , рад	Значення загасання ВОЛЗ, дБ	Довжина волокна, км	Загасання у волокні, дБ/км
1	50/125	0,32	32	1	2,0
	62,5/125	0,56	40	2	1,5
	100/140	0,64	78	3	4,0
2	8/125	0,4	44	4	1,0
	50/125	0,34	35	5	2,0
	62,5/125	0,47	27	6	1,5
3	100/140	0,5	79	7	4,0
	8/125	0,42	80	8	1,0
	50/125	0,38	64	9	2,0

5. Виконати розрахунок порогу чутливості оптичного приймача з урахуванням бюджету потужності ВОЛЗ, який можна визначити з вихідних даних відповідно до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вихідні дані для розрахунку порогу чутливості оптичного приймача з урахуванням бюджету потужності ВОЛЗ

№ вар	Тип ОВ	Параметри ВОЛЗ						Задана вихідна потужність оптичного передавача, ДБ	Поріг чутливості оптичного приймача, дБ
		Швидк. инф. сигналу, Гбіт/с	Загальна довжина лінії, км	Будівельна довжина ВОК, км	Значення затухання на зварному з'єднанні	Значення затухання на з'єднувачах кросу, дБ	Коефіцієнт власного затухання ОВ, дБ/км		
1	Одномодове	10	150	5	0,04	0,4	0,35	35	
2	Одномодове	15	120	7	0,038	0,38	0,3	40	
3	Одномодове	12	130	6	0,039	0,39	0,32	37	

6. За даними таблиці 3.7 вибрати варіант вихідних даних та визначити загальне затухання ОВ, використовуючи формули 3.5.

Таблиця 3.7 – Вихідні дані для розрахунку загального затухання в ОВ

	Тип волокна	Апертурний кут, α , рад	Кут змищення, α , рад	Радіальне змищення, L , мкм	Довжина волокна, км	Загасання у волокні, дБ/км
1	50/125	0,48	0,015	0,01	1	2,0
	62,5/125	0,50	0,045	0,05	2	1,5
	100/140	0,53	0,043	0,04	3	4,0
2	8/125	0,54	0,004	0,03	4	1,0
	50/125	0,47	0,038	0,02	5	2,0
	62,5/125	0,51	0,0221	0,01	6	1,5
3	100/140	0,49	0,065	0,06	7	4,0
	8/125	0,61	0,032	0,05	8	1,0
	50/125	0,56	0,09	0,04	9	2,0

7. Виконати розрахунок параметрів ВОЛЗ для ВОСП між містами згідно з таблицею 3.8. При цьому необхідно враховувати параметри вибраного станційного телекомунікаційного обладнання.

Таблиця 3.8 – Вихідні дані для розрахунку параметрів ВОЛЗ для ВОСП між містами

Варіант	Міста	Робоча довжина хвилі, мкм	Втрати на нероз'ємних з'єднаннях, дБ	Втрати на роз'ємних з'єднаннях, дБ	Експлуатаційний запас обладнання, дБ	Експлуатаційний запас кабелю, дБ	Макс. величина крутизни нульової дисперсії	Система передачі
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Дніпропетровськ- Житомир-Львів- Вінниця-Миколаїв- Маріуполь- Дніпропетровськ	1.55	0.049	0.29	9.1	10	0.094	STM-16
2	Івано-Франківськ- Київ-Харків- Дніпропетровськ- Одеса-Миколаїв- Івано-Франківськ	1.3	0.049	0.26	9.7	9.2	0.087	STM-4
3	Запоріжжя-Одеса- Кіровоград-Житомир- Чернігів-Харків- Запоріжжя	1.55	0.053	0.27	9.7	8.5	0.094	STM-1

8. Відповідно до переліку населених пунктів необхідно скласти кільцеву топологію та визначити довжину кожної ділянки. Для кожного з комутаційних центрів необхідно обрати активне телекомунікаційне обладнання, яке відповідатиме вимогам таблиці 3.9.

Обрати тип та марку ВОК з відповідними параметрами. Визначити кількість нерознімних з'єднань з урахуванням будівельної довжини ВОК. Визначити кількість та тип рознімних з'єднань з урахуванням обраного активного телекомунікаційного обладнання. Під час виконання розрахунку необхідно використовувати параметри станційного обладнання ВОСП, зокрема: чутливість оптичного приймача, потужність оптичного передавача, максимальну ширину спектра джерела оптичних сигналів, коефіцієнт поляризаційної модової дисперсії. Також необхідно визначити довжину регенераційної ділянки та необхідність використання пристроїв компенсації дисперсії.

Таблиця 3.9 – Вихідні дані для розрахунку оптичної телекомунікаційної мережі на основі ВОСП

Параметр	Величина
Кілометричне загасання в ОВ – a , дБ/км	
Втрати на нерознімних з'єднаннях – A_{nc} , дБ	
Втрати на рознімних з'єднаннях – A_{pc} , дБ	
Експлуатаційний запас кабелю – $A_{ек}$, дБ	
Експлуатаційний запас апаратури – $A_{еза}$, дБ	
Потужність передавача – $P_{онт}$, дБм	
Чутливість приймача – $S_{пр}$, дБм	
Робоча довжина хвилі – λ , мкм	
Максимальна ширина спектра випромінення передавача – $\Delta\lambda$, нм	
Швидкість передачі – B_0 , Мбіт/с	
Питома хроматична дисперсія $D(\lambda=1,55 \text{ мкм})$, пс/нм·км	
Коефіцієнт поляризаційної модної дисперсії $T(\lambda)$, пс/км ^{1/2}	
Довжина лінії L , км	
Кількість нерознімних з'єднань n_{nc}	
Кількість рознімних з'єднань n_{pc}	

Відобразити схему з'єднань мережі в цілому.

Опис лабораторного обладнання

На рис. 3.5 наведено структурну схему лабораторного стенда для визначення параметрів кабельних ліній напрямних систем оптичного зв'язку за допомогою цифрового аналізатора ВОЛЗ НР Е6000В. Для нормальної роботи програми керування необхідний РС з такою конфігурацією: Центральний процесор: Pentium 1200 МГц. Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP. Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 120 ГБ. Монітор: VGA. (1024×768). Миша / Клавіатура. Інтерфейс COM – Port RS-232 або USB-2.0.

Спочатку за допомогою нуль-модемного кабелю або перетворювача USB to COM необхідно підключити ПК до аналізатора НР Е6000В. Після цього підключаємо аналізатор до лінії передавання. Підключення до лінії, яку необхідно протестувати, виконується стандартним способом, який використовується для переважної кількості тестів та вимірювань. Правила підключення аналізатора до ліній оптичного зв'язку вказано у рекоменда-

ціях користувачу приладом HP E6000B [6]. Запускаємо на ПК термінальну програму для взаємодії з HP E6000B. Вмикаємо аналізатор та запускаємо термінальну програму, в якій вибираємо тип підключення COM1. При вдалому підключенні отримуємо підтвердження у вікні результатів термінальної програми.

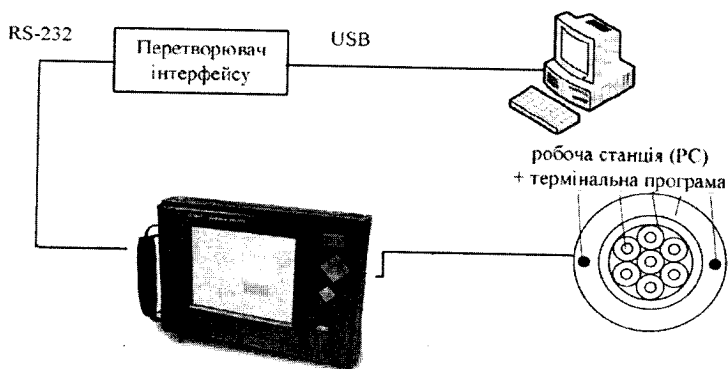


Рисунок 3.5 – Структурна схема лабораторного стенда для визначення параметрів напрямних систем оптичного зв'язку

Порядок виконання роботи

3.1 Включити оптичний рефлектометр та після завантаження основної програми за допомогою функціональних клавіш вибрати режим роботи рефлектометра «Режим OTDR». Після цього з основного меню режиму OTDR за допомогою функціональної клавіші Select відкрити підменю перегляду та встановлення функціональних параметрів рефлектометра. Використавши опцію «файл», завантажити з пам'яті приладу збережені рефлектором файли. Занести в звіт та порівняти отримані рефлекторами файли і зробити висновки. Назви файлів необхідно вибирати згідно з варіантом, що вказані в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати дослідження рефлектограм різних ВОЛЗ

№ вар.	Назва файла рефлектограми	Параметри рефлектограми							№ рис. рефлектограми
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Від 1 по 12								
2	Від 13 по 24								
3	Від 24 по 36								

Після завершення досліджень виключити оптичний рефлектометр.

3.2 Включити оптичний рефлектометр та після завантаження основної програми за допомогою функціональних клавіш вибрати режим роботи рефлектометра «Режим OTDR». Підключити до оптичного рефлектометра лабораторну ВОЛЗ. Після цього з основного меню режиму OTDR за допомогою функціональної клавіші Select відкрити підменю вимірювання та встановлення функціональних параметрів рефлектометра. Використавши функціональну клавішу «Run/Stop», виконати рефлекторами вимірювання підключеного ОВ. Тривалість сканувального імпульсу необхідно вибирати з урахуванням найкращої інформативності, отриманої рефлектограми.

Проаналізувати отриману рефлектограму та числові значення записати в табл. 3.9. Порівняти отриману рефлектограму з записаними в пам'яті приладу та зробити висновки.

Таблиця 3.9 – Результати дослідження рефлектограм лабораторної ВОЛЗ

№ вар.	Значення довжини робочої хвилі, нм	Параметри рефлектограми							№ рис. рефлектограми
		1	2	3	4	5	6	7	
1	1310								
2	1550								
3	1310/1550								

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, значення розрахованих параметрів ВОЛТ для заданих значень робочих довжин хвиль, графіки залежностей параметрів ВОСП від довжини ВОЛЗ, висновки за отриманими формами залежностей, табличні та графічні результати виконаних тестувань параметрів ВОК. Загальний висновок щодо придатності до експлуатації ділянки ВОК.

Контрольні запитання

1. Наведіть конструктивні заходи захисту від взаємних впливів між сусідніми ОВ у ВОК.
2. Поясніть необхідність визначення числової апертури ОВ.
3. Опишіть процес підготовки ВОК до оптичних вимірювань.
4. Проаналізувати правила проведення оптичних вимірювань різними методами.
5. Опишіть процес вимірювання електричних параметрів ВОК.
6. Вкажіть прилади, що використовують для оптичних та електричних вимірювань ВОК.

7. Вкажіть основні варіанти з'єднання активних та пасивних компонентів ВОЛТ і поясніть проблеми, що виникають при їх здійсненні.
8. Назвіть причини виникнення втрат при з'єднанні однакових ОВ між собою.
9. Вкажіть види втрат, що можуть мати місце при з'єднанні ОВ з технологічними відхиленнями.
10. В яких випадках значення втрат при з'єднанні ОВ залежить від напрямку поширення оптичних сигналів ?
11. Вкажіть методи підготовки торців з'єднуваних ОВ, що використовуються на практиці.
12. Вкажіть методи виконання нерознімних з'єднань ОВ та порівняйте їх між собою за втратами, міцністю і собівартістю.
13. Вкажіть спосіб зниження втрат при клейовому з'єднанні ОВ.
14. Вкажіть спосіб зменшення втрат при механічному з'єднанні ОВ.
15. Вкажіть основні вимоги, що висуваються до параметрів рознімних з'єднань ОВ.
16. Вкажіть варіанти суміщення торців штекерів з ОВ, що використовуються у рознімних з'єднаннях.
17. Вкажіть матеріали, що використовуються для штекерів оптичних з'єднувачів.
18. Вкажіть основні вимоги до волоконно-оптичних роз'ємних з'єднувачів.
19. Вкажіть основні чинники, які впливають на затухання у волокні.
20. Проаналізуйте формули для визначення коефіцієнта передавання та розрахунку коефіцієнта затухання.
21. Вкажіть типи основних матеріалів та легувальних домішок, що використовуються в ОВ.
22. Поясніть причини поглинання світла матеріалом ОВ.
23. Вкажіть різновиди поглинання, що спостерігаються у кварцових ОВ.
24. Поясніть явище розсіювання Релея в ОВ та вкажіть спосіб його зменшення.
25. Вкажіть види та причини виникнення геометричних дефектів в ОВ.
26. Проаналізуйте вплив конструктивних дефектів ОВ на значення коефіцієнта затухання сигналів у ВОК.
27. Поясніть фізичний зміст вікон прозорості в кварцовому ОВ.
28. Порівняйте значення коефіцієнтів затухання одномодового та багатомодового ОВ.
29. Вкажіть причини зміни значення коефіцієнта затухання в ОВ після його впакування у ВОК.
30. Проаналізувати причини втрат потужності оптичних сигналів на мікро- та макровигинах ОВ.
31. Вкажіть методи вимірювання затухання оптичних сигналів в ОВ.
32. Порівняйте правила використання методу обривання для вимірювання затухання в ОВ та методу внесених втрат.
33. Вкажіть призначення змушувача мод та фільтра мод оболонки в ОВ.

Лабораторна робота № 4

Тема: дослідження параметрів ВОЛТ рефлектометричним методом методики монтажу станційних ВОК та кінцевого обладнання.

Мета роботи: виконати дослідження імпульсних локаційних методів вимірювання параметрів оптичних волокон, оптичних кабелів та ознайомлення з методами прокладання та монтажу оптичних кабелів у приміщеннях вузлів зв'язку.

- Обладнання:**
1. Зразки кабелів електрозв'язку;
 2. Цифровий аналізатор ВОЛЗ НР Е6000В;
 3. Персональний комп'ютер;
 4. Спеціалізоване програмне забезпечення.

Теоретичні відомості

Фізичні явища

Методи вимірювання ґрунтуються на вимірюванні відбитого та розсіяного випромінювання, яке поширюється в зворотному напрямку при проходженні по оптичному волокну потужних оптичних імпульсів у прямому напрямку.

У волокно вводяться зондувальні імпульси випромінювання від лазерного діода. Туди ж повертаються наступні сигнали:

- відбиті від великих неоднорідностей, які мають розміри набагато більші за довжину хвилі випромінювання. Це сигнали френелівського відбиття, наприклад, від макро- та мікротріщин, місця стиків ОВ, вхідного й вихідного торців ОВ, вигинів ОВ, що вони спричиняють деформування профілю показника заломлення скла;

- розсіяні в зворотному напрямку внаслідок мікроскопічних флуктуацій показника заломлення (неоднорідності в щільності матеріалу та його складу).

На рисунку 4.1 відображено напрямки поширення розсіяної потужності оптичних сигналів в об'ємі Δx . 1 – осердя; 2 – оболонка ОВ. Сигнали зворотного розсіювання, зазвичай, на 20...25 дБ менші, за відбиті сигнали.

До вихідного кінця ОВ через оптичний відгалужувач (світлорозподільний пристрій) приєднують джерело потужних зондувальних оптичних імпульсів та широкосмуговий чутливий приймальний пристрій (оптоелектронний модуль - ОЕМ), який має на своєму виході пристрій для реєстрування прийнятих сигналів (РП). За його допомогою дістають графічне зображення кривої відбитих та зворотно-розсіяних сигналів як функцію довжини лінії зв'язку - рефлектограму.

Рефлектограма подає залежність потужності відбитого P_R та зворотно-розсіяного P_S сигналів від довжини лінії x (часу поширення t). Знаючи Δt – інтервал часу між зондувальним та відбитим імпульсами, можна визначити відстань до місця відбиття (розсіювання) що є

$$x = v \cdot \frac{\Delta t}{2} = \frac{c}{n} \cdot \frac{\Delta t}{2},$$

де v - швидкість світла в осерді (серцевині) волокна з найбільшим значенням показника заломлення n_1 ;

c - швидкість світла у вакуумі;

цифра 2 - враховує поширення оптичного імпульсу в прямому та зворотному напрямках.

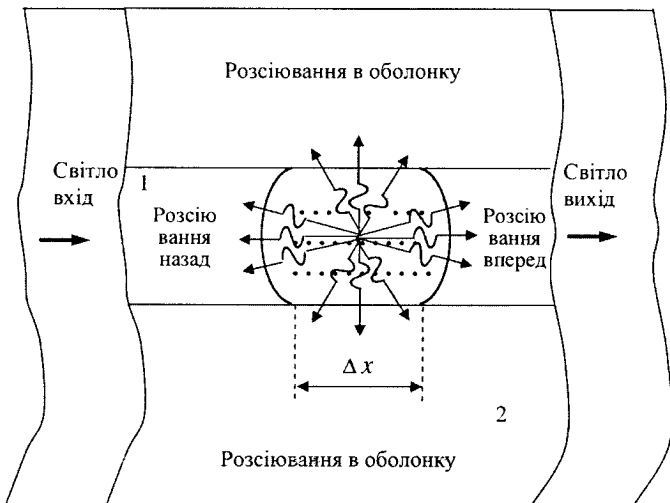


Рисунок 4.1 – Напрямки поширення випромінювання

Структурну схему устаткування для дослідження ОВ імпульсними методами наведено на рис. 4.2.

Прилад (за схемою на рис. 4.2) дозволяє реєструвати як відбиті, так і розсіяні в зворотному напрямку сигнали. Розсіювання – це зміна напрямку випромінювання світлових променів або фотонів на неоднорідностях осердя волокна, малих порівняно з довжиною хвилі випромінювання.

Якщо в схемі відсутній БОС, то прилад називається *вимірвач місця ушкодження (обриву) ОВ*, тому що він дозволяє реєструвати лише великі за рівнем потужності сигнали френелівського відбиття від великих відбивальних неоднорідностей. Типову форму сигналів, які реєструються таким приладом, наведено на рис. 4.3, де 1 та 4 – сигнали, що відбилися від вхідного та вихідного торців ОВ; 2 та 3 – сигнали, що відбилися від мікротріщин або місць, де встановлено рознімні з'єднувачі оптичних волокон.

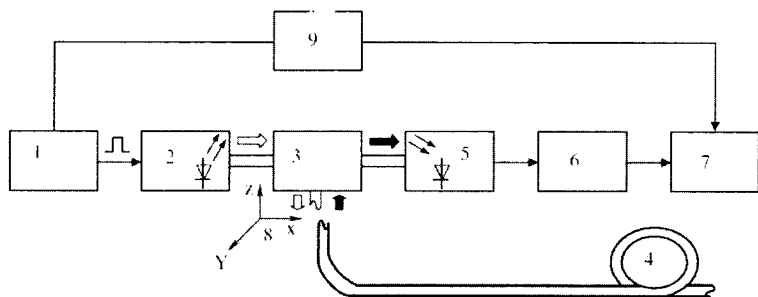


Рисунок 4.2 – Структурна схема приладу для дослідження ОВ імпульсними методами:

- 1 - генератор коротких електричних імпульсів;
- 2 - джерело потужних оптичних імпульсів (лазерний діод);
- 3 - світлорозподільний пристрій (оптичний відгалужувач);
- 4 - досліджуване ОВ;
- 5 - приймальний оптичний модуль;
- 6 - блок опрацювання сигналів (БОС);
- 7 - пристрій для реєстрування (це може бути осцилограф, дисплей, графопобудовник тощо);
- 8 - пристрій для юстування;
- 9 - схема синхронізації

Недоліками вимірювача місць ушкодження є: 1 - неможливість вивчення невідбиваючих неоднорідностей; 2 - нечутливість до сигналів зворотного розсіювання; 3 - залежність рівня френелівського відбиття від характеристик поверхні злому (гладенька, шорстка) ОВ.

Прилади, які дозволяють реєструвати як сигнали френелівського відбиття, так і зворотного розсіювання, називаються *рефлектометрами*. У таких приладах неодмінно є блок опрацювання сигналів, який дозволяє значно поліпшити чутливість приймального пристрою (максимізувати співвідношення сигнал/шум на вході реєструвального приладу) і виділити із шуму корисні сигнали зворотного розсіювання, які мають рівні потужності набагато менші, за відбиті сигнали.

На рисунку 4.3 наведено загальну криву часового розподілу потужності зворотного розсіювання. У загальному випадку вона нагадує зменшувану експоненту, як функцію часу (довжини), нахил якої визначає коефіцієнт втрат потужності оптичного випромінювання в ОВ. Відмінність реальної кривої зворотного розсіювання (рис. 4.4) від зменшуваної експоненти зумовлено дефектами ОВ. Приміром, будь-які включення (домішки), що мають розміри більші, ніж довжина хвилі випромінювання, сприяють збільшенню зворотно-розсіяних сигналів, що виявляється як збільшення потужності 2 на рефлектограмі. Стрибки 3 спричинено дефектами ОВ, на-

приклад, місця зварювання ОВ. Якщо використовують оптичні з'єднувачі або маємо неякісно виконане зварювання ОВ, то виникає і відбиття, стрибки втрат. У тому разі, якщо зворотне розсіювання випромінювання в першому із двох зварених волокон менше, аніж у другому, виникає позитивний стрибок рівня потужності 5. Потужні імпульси 1 та 6 зумовлено відбиттям від вхідного та вихідного торців ОВ, відповідно.

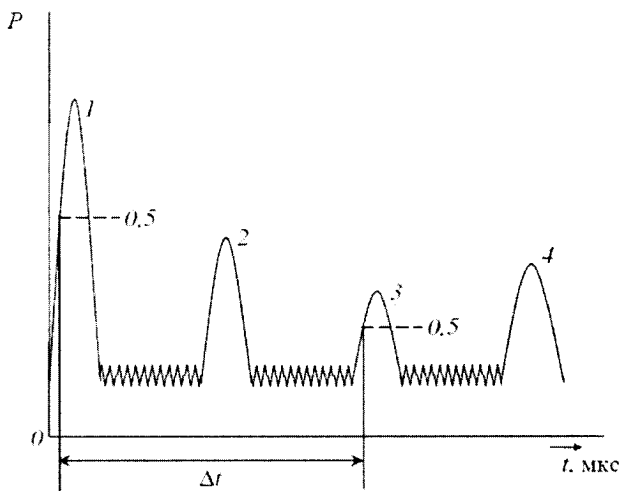


Рисунок 4.3 – Типова рефлектограма відбитого сигналу

Рефлектометри дозволяють: 1 – досліджувати втрати випромінювання вздовж ОВ; 2 – визначати характер та місцеположення як відбивальних, так і невідбивальних (поглинальних) неоднорідностей; 3 – вимірювати втрати потужності в місцях з'єднань ОВ; 4 – визначати повне значення втрат випромінювання в ОВ; 5 – здобувати інформацію про стабільність втрат на окремих ділянках ОВ.

Метод зворотного розсіювання (МЗР), завдяки своїм універсальним можливостям, значно перевершує можливості інших методів. Він набув значного поширення і нині є основним методом вимірювань при виготовленні ОВ та ОК, будівництві, монтажі та експлуатації волоконно-оптичних ліній передавання (ВОЛП). Важливим досягненням методу є можливість вимірювань у польових умовах та за умов доступу лише до одного кінця оптичного кабелю.

Скло за своєю природою є неупорядкованою структурою, у якій можуть спостерігатися мікроскопічні відхилення щільності матеріалу від середнього значення, а також локальні зміни в складі матеріалу. Кожна з вищезгаданих змін призводить до флуктуацій показника заломлення в мікрообластях, розміри яких є малими порівняно з довжиною хвилі оптичного

випромінювання (розсіювання Релея). Розсіювання на неоднорідностях, які дорівнюють, або є більші за довжину хвилі випромінювання, називаються розсіюваннями Mi .

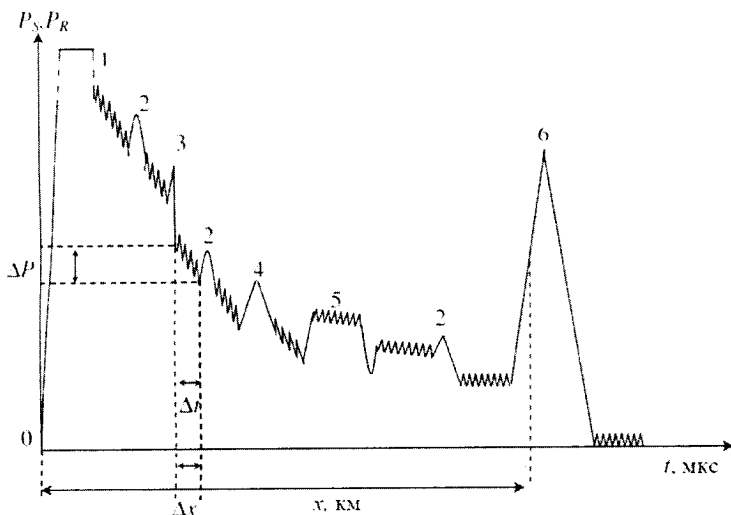


Рисунок 4.4 – Загальна крива розподілення потужності

Потужність світлового потоку після проходження волокна довжиною x експоненціально зменшується від P_0 до P_s , як подано на рис. 4.5. Тут Δx розсіювальний об'єм, який викликає в кожній точці серцевини ОВ зворотне розсіювання світла.

Математично це можна записати так:

$$P(x) = P_0 e^{-\alpha x} = P_0 e^{(-\alpha_a + \alpha_s) x},$$

де α - коефіцієнт загасання, який можна розбити на коефіцієнт поглинання α_a та коефіцієнт розсіювання α_s . Розмірність α , α_a та α_s є $1/\text{км}$, (якщо перемножити на 0,23 дістанемо значення α , α_a та α_s в дБ/км).

На інтервалі Δx потужність випромінювання змінюється на величину ΔP . Для $\Delta x \ll x$ є справедливе співвідношення:

$$\Delta P = -P_0 \alpha_a \cdot \alpha_s^{-\alpha_a x} \cdot \Delta x = -P_0 \alpha_a \cdot \alpha_s^{-\alpha_a x} \cdot \Delta x - P_0 \alpha_s \cdot \alpha_s^{-\alpha_s x} \cdot \Delta x,$$

де перший член відповідає частині втрат за рахунок поглинання α_a , а другий – частині втрат за рахунок розсіювання випромінювання α_s , на інтервалі Δx .

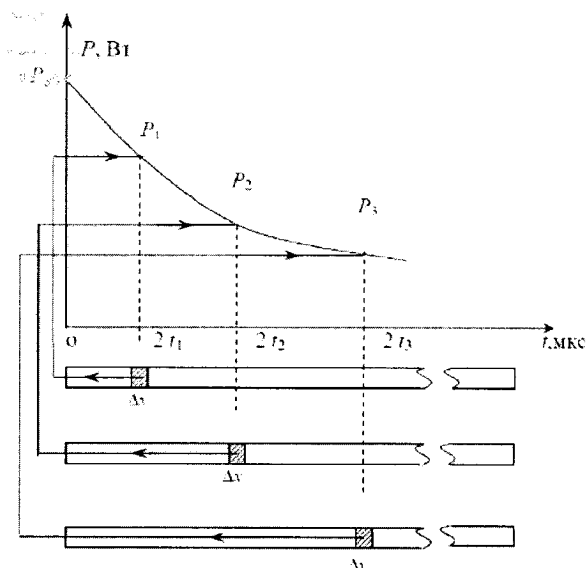


Рисунок 4.5 – Пояснення виникнення кривої зворотного розсіювання

Випромінювання, яке поширюється в зворотному напрямку, є певною часткою від загального розсіяного світла (яка «захоплюється» апертурою ОВ), ця частка визначається коефіцієнтом зворотного розсіювання S від англійського слова scattering – розсіювання

$$S = \frac{3(NA)^2}{8n_1^2} \text{ – для градієнтного ОВ,}$$

$$S = \frac{(NA)^2}{4n_1^2} \text{ – для східчастих багатомодових ОВ,}$$

$$S = \frac{(NA)^2}{4,55n_1^2} \text{ – для одномодових ОВ,}$$

де n_1 – найбільший показник заломлення серцевини ОВ;

NA – числа апертура ОВ.

Параметри S можна подати у відносних одиницях: $s = \lg S$, дБ.

Вирази справедливі, якщо розсіювання світла ізотропне, тобто однакове у всіх напрямках. Реально інтенсивність розсіювання світла в зворотному напрямку за розсіювання Релея є більшою, а за розсіювання Міє меншим, аніж інтенсивність розсіяного вперед світла. Для типових параметрів ОВ у таблиці 4.1 вказано вихідні дані.

Таблиця 4.1 – Типові параметри ОВ

Тип ОВ	n_1	NA	S	$S, \text{дБ}$
Східчасте	1,5	0,2	$6,666 \cdot 10^{-3}$	-21,8
Градентне	1,5	0,2	$4,444 \cdot 10^{-3}$	-23,5
Одномодове	1,5	0,1	$9,768 \cdot 10^{-4}$	-30,1

Похибка вимірювання за довжиною Δx залежить від тривалості вимірювального (зондувального) імпульсу τ й визначається як

$$\Delta x = \frac{c \cdot \tau}{n_g},$$

де $n_g = n_1 \left(1 - \frac{\lambda}{n_1} \cdot \frac{dn}{d\lambda} \right)$ загальний показник заломлення серцевини ОВ, який враховує, дисперсію матеріалу ОВ. Інтервал Δx чисельно дорівнює роздільній здатності по довжині рефлектометра. Наприклад, для $\tau = 100$ нс дістанемо $\Delta x = 20$ м.

Зворотно-розсіяний сигнал, який прийшов на вхід ОВ:

$$P_s(x) = (P_0 \alpha_s e^{-\alpha_s \cdot \Delta x}) \cdot S \cdot e^{-\alpha_s x}, \text{Вт}$$

де перший множник (в дужках) відповідає всьому розсіяному на інтервалі Δx світлу, другий – частка зворотного розсіювання, третій – значення потоку випромінювання, яке поширюється в зворотному напрямку.

Одним із головних параметрів рефлектометра є динамічний діапазон вимірювань Q , який визначається потужністю випромінювання лазерного діода P_d та чутливістю ПРОМ P_0 , тобто:

$$Q = 10 \lg \left(\frac{P_d}{P_0} \right), \text{дБ.}$$

Якщо $P_d = 1$ Вт; $P_0 = 10^{-9}$ Вт, енергетичний потенціал дорівнює 90 дБ. Динамічному діапазону вимірювань (ДДВ) рефлектометра притаманні такі «втрати»:

- зумовлені загасанням світла при поширенні в прямому та зворотному напрямках $2\alpha_{\text{вном}}$;
- внаслідок розсіювання α_s ;
- привнесені відгалужувачем та через неузгодженість торців (втрати вводу-виводу) $\alpha_{\text{вв}}$.

Загалом, баланс потужностей:

$$Q = 2\alpha_{\text{вном}} + \alpha_s + \alpha_{\text{вв}}.$$

Втрати на зворотне розсіювання обчислюють як відношення потужності, зворотно-розсіяної на інтервалі Δx , до потужності світла, яке пройшло через поперечний переріз ОВ на відстані x від його початку:

$$\alpha_s = -10 \lg \frac{P_0 \alpha_s \Delta x S}{P_0 e^{-\alpha x}} = -10 \lg (\alpha_s \Delta x S).$$

Максимальне значення зворотного-розсіяного сигналу ($x = 0$) для імпульсів тривалістю $\tau = 100$ нс ($\Delta x = 20$ м) наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Значення зворотного розсіяного сигналу

ОВ	λ , нм	α , дБ/км	α_s , дБ/км	NA	$P_s(x=0)/P_0$
Градiєнтне	850	2,5	2,17	0,2	$44 \cdot 10^{-6}$ (-43,6 дБ)
Багатомодове	1300	0,5	0,43	0,2	$2 \cdot 10^{-6}$ (-57,0 дБ)
Одномодове	1500	0,25	0,22	0,1	$1 \cdot 10^{-6}$ (-60 дБ)

Для градiєнтного ОВ

$$\alpha_s = 20 \lg \frac{2n_1}{NA} + 10 \lg \frac{n_g}{c \cdot \tau \cdot \alpha},$$

наприклад, за $NA = 0,2$; $\tau = 100$ нс; $\alpha_s = 0,5$ 1/км; $n_1 = 1,5$ із виразу дістанемо $\alpha_s = 42$ дБ. Для забезпечення приймання імпульсів протяжністю 100 нс OEM має мати ширину смуги пропускання $F \approx 1/2\tau = 5$ МГц.

Втрати, зумовлені загасанням світла при поширенні в прямому та зворотному напрямках, визначають максимальну довжину ОВ, параметри якого можуть бути виміряні за допомогою МЗР, можуть фактично бути динамічним діапазоном вимірювання

$$\alpha_{\text{вном}} = \alpha x = \frac{Q - \alpha_s - \alpha_{\text{вв}}}{2}.$$

За $\alpha_s = 42$ дБ; $\alpha_{\text{об}} = 8$ дБ; дістанемо $\alpha_{\text{вим}} = 20$ дБ, якщо $Q = 90$ дБ. Рефлектометр із таким діапазоном вимірювання дозволяє вимірювати параметри волокна, наприклад, довжиною 4 км за коефіцієнта загасання до 5 дБ/км.

Якщо, для поліпшення роздільної здатності рефлектометра за довжиною, зменшити протяжність імпульсу до 10 нс ($\Delta x = 2$ м), то загасання зворотного розсіяного сигналу збільшиться до 54 дБ, а динамічний діапазон вимірювань зменшиться до 14 дБ. Смуга пропускання ПРОМ у цьому разі збільшиться в десять разів.

$$F = \frac{1}{2\tau} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-8}} = 50 \text{ МГц.}$$

Виготовлення широкосмугового ПРОМ із високою чутливістю та великим динамічним діапазоном є складною задачею, яка утрудняє покращення роздільної здатності рефлектометра за довжиною.

При вимірюваннях за допомогою рефлектометра потрібно вжити заходів із недопущення паразитних френелівських відбиттів та, насамперед, від вхідного торця досліджуваного ОВ. Відношення потужностей відбитого й зворотного розсіяного випромінювання

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{R}{\alpha_s \Delta x S} = \frac{R}{\alpha_s \frac{c\tau}{n_g} S},$$

де R – коефіцієнт відбиття.

Якщо $R = 0,04$ (4%), що має місце при відбитті від зламу (сколу) ОВ, перпендикулярного до його осі, зворотно-розсіяний сигнал менший за відбитий у 1000 разів, тобто на 30 дБ. Навіть за такого малого коефіцієнта відбиття, як $R = 0,01$ (1%), сигнал, який виникає за рахунок відбиття, є в сотні разів більшим, аніж сигнал, який з'являється за рахунок зворотного розсіявання. Такий відбитий сигнал може призвести до перевантаження вхідного тракту приймача.

За кривою зворотного розсіявання (див. рис. 4.5) можна обчислити коефіцієнт загасання ОВ на цій довжині хвилі. Для цього потрібно визначити втрати потужності на відрізок поміж x_1 та x_2 .

$$\alpha = 10 \frac{\left[\lg \frac{P_1}{P_2} \right]}{2} = 5 \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дБ,}$$

а потім обчислити коефіцієнт загасання

$$\alpha = \frac{a}{x_1 - x_2} = 5 \frac{\lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{(x_1 - x_2)}, \text{ дБ/км.}$$

Точність визначення коефіцієнта загасання залежить від похибки вимірювання: потужностей зворотного розсіяного сигналу P_1 та P_2 ; положення точок вимірювань x_1 та x_2 . Чим ближче є ділянка до вхідного торця волокна, тим вищою є точність визначення коефіцієнта загасання. Зазвичай беруть ділянку не далі, аніж 1 км, але не ближче за 200...300 м від вхідного торця ОВ (мертва зона); тут можуть бути ще значні ефекти, пов'язані з несталім модовим складом випромінювання.

Найбільшою проблемою при побудові рефлектометра є ресстрування низького рівня корисного сигналу. Використовуються різні методи її розв'язання:

- збільшення потужності випромінювання, введеного до ОВ;
- зменшення тривалості зондувальних імпульсів;
- довжину хвилі випромінювання (зондувальних сигналів) обирають у заданому вікні прозорості кварцового скла;
- оптичний відгалужувач роблять із малими втратами при введенні випромінювання в ОВ та при виведенні зворотно-розсіяного випромінювання до ПРОМ;
- використовують ПРОМ із високою чутливістю та широким динамічним діапазоном;
- вживають спеціальні заходи для ліквідації відбиття сигналу від вхідного торця, наприклад, використовуючи імерсійну рідину з узгодженим показником заломлення.

Важливу роль у рефлектометрі відіграє БОС. У ньому відбувається накопичення (інтегрування) серії відгуків на 100 ... 1000 імпульсів. При цьому сигнали розсіяння додаються арифметично, а шуми середньоквадратично, що забезпечує значний вигравш у відношенні сигнал/шум та дозволяє приймати слабкі сигнали зворотного розсіявання.

Оптичне кросове обладнання містить ряд пристроїв, до складу яких входять вузли введення, кріплення, комутації, кінцевого оснащення лінійних оптичних кабелів (ОК) та подальшого їх підключення до апаратури оптичних систем передавання (ОСП) і забезпечення контролю характеристик ОК в процесі експлуатації. Більшість видів кросового обладнання різних фірм і заводів можна розділити на дві основні групи:

1. Традиційна конструкція (коли не потрібно часто змінювати конфігурацію з'єднань оптичних волокон (ОВ) в процесі експлуатації);
2. Конструкція з доступом до кожного окремого ОВ (забезпечує можливість швидкої зміни конфігурації схеми з'єднань ОВ в процесі експлуатації).

На сучасних лініях зв'язку України найчастіше використовується кросове обладнання першої групи, обладнання другої групи використовується переважно на оптичних мережах великої ємності, там де є необхідність працювати з окремими ОВ.

Сучасне оптичне кросове обладнання (ODF – Optical Distribution Frame – оптичний розподільний пристрій) виконане, здебільшого, в формі блока, шафи або стійки та призначене, переважно, для використання в приміщеннях вузлів зв'язку. Але може також бути встановлене в ґрунтових контейнерах, разом з обладнанням ОСП необслуговуваних регенераційних пунктів (НРП).

Кросове обладнання являє собою конструкцію, до складу якої входять: елементи вводу та кріплення лінійного ОК, елементи фіксації зварних з'єднань ОВ лінійного та станційного ОК. Як станційний ОК найчастіше використовують одноволоконний оптичний шнур, який може бути армований оптичним з'єднувачем з однієї сторони (pigtail) або з обох сторін (patchcord).

Кросове обладнання має забезпечувати ряд функціональних вимог, таких як:

- кінцеве підключення ОК, яке не зменшує його характеристик передавання та надійність;
- закріплення силових елементів лінійного ОК;
- викладення запасів довжин ОВ з радіусом вигину не менше 30 мм;
- закріплення (фіксацію) захисних гільз з'єднання ОВ;
- ідентифікатор ОВ та їх перемонтаж в разі необхідності;
- можливість монтажу і перемонтажу кабелів при доступі до них тільки з однієї (фронтальної) сторони;
- розміщення адаптерів оптичних з'єднувачів (типу «гніздо-гніздо») на панелях або стінках кросового обладнання з можливістю доступу до них з обох сторін;
- можливість ідентифікації та переключення оптичних з'єднувачів;
- можливість встановлення оптичних з'єднувачів FC, SC, ST та інших;
- механічний захист та ідентифікація оптичних з'єднувачів та оптичних шнурів, що до них підключаються;
- виконання внутрішніх комутацій ОВ (шлейфів) лінійного ОК, який вводиться в кросове обладнання.

Кросове обладнання у вигляді окремих блоків або стінок використовується, переважно, на великих об'єктах зв'язку або ж при кінцевому розгалуженні ОК великої ємності. Якщо це стояки, то найімовірніше, кросове обладнання буде займати один поверх (блок) стояка. При цьому лінійний ОК може мати в собі від 12 до 96 ОВ (рис. 4.1).

Кросове обладнання шафного виконання має вигляд невеликих коробок (шафок), які мають механізми для закривання (замки) та можуть бути встановлені на стінах приміщень. Використовуються на невеликих об'єктах зв'язку та в офісних приміщеннях, вологозахисне виконання (рис 4.2).

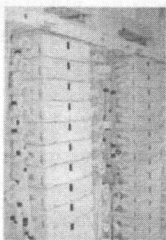


Рисунок 4.1 – Оптичне кросове обладнання великої ємності

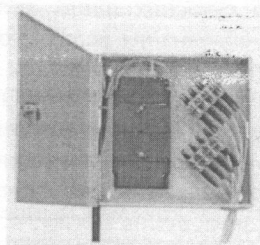


Рисунок 4.2 – Оптичне кросове обладнання шафного типу

Кросове обладнання містить: елементи вводу ОК; касети та конструктивні елементи для розміщення стиків ОБ і запасів довжини лінійного ОК та одноволоконних оптичних шнурів типу pigtail; панель комутації з адаптерами оптичних з'єднувачів для з'єднання оптичних шнурів типів pigtail і patchcord; конструктивні елементи для розміщення запасів довжин одноволоконних оптичних шнурів типу patchcord (рис 4.3).

- 1 - вузол кріплення ОК;
- 2 - кабельний канал;
- 3 - напрямна, яка запобігає зламу ОК;
- 4 - кріплення адаптера оптичного з'єднувача;
- 5 - касета для розміщення зростків та запасів довжин оптичних волокон;
- 6 - трикутник кріплення до каркасу стояка;
- 7 - відділ для розміщення ОМ;
- 8 - вхід;
- 9 - вихід

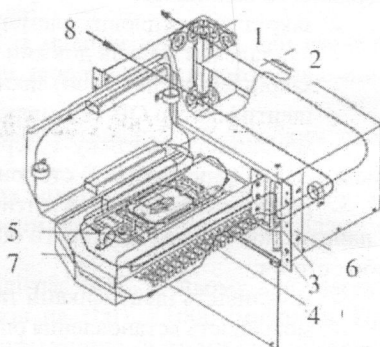


Рисунок 4.3 – Оптичне кросове обладнання

На вузлах зв'язку як станційні кабелі використовують два типи оптичних шнурів:

- армовані оптичними з'єднувачами на обох кінцях (patchcord);
- армовані оптичним з'єднувачем на одному кінці (pigtail).

Шнури типу patchcord застосовуються для з'єднання оптичного кінцевого обладнання з апаратурою ОСП, для комутації оптичних волокон, а також для вимірювань.

Шнури типу pigtail застосовуються, переважно, для кінцевого розгалуження ОБ лінійних ОК. Як шнури pigtail можуть використовуватись і комутаційні з'єднувальні шнури patchcord, які розрізано на дві частини.

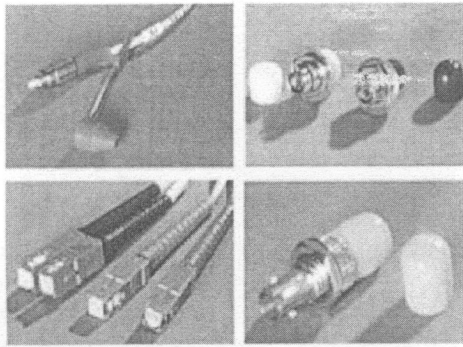


Рисунок 4.4 – Оптичні роз'єми та адаптери

В оптичних шнурах використовують, переважно, одноволоконні ОК із зовнішнім діаметром від 0,9 до 3,0 мм. Для локальних оптичних мереж використовують дуплексні (здвоєні) ОК. Останнім часом збільшується обсяг використання шнурів pigtail, виконаних на основі ОБ з додатковим зовнішнім буферним покриттям (діаметром до 900 мкм) (рис. 4.4).

Оптичні шнури відрізняються типом і кількістю використовуваних в них ОБ, типами з'єднувачів та видом їх полірування, діаметром і довжиною ОК. Шнури відрізняються кольором оболонки кабелю:

- жовтий колір – з одномодовим ОБ;
- червоний або сірий – з багатомодовим ОБ.

Для армування оптичних шнурів використовують різні оптичні з'єднувачі різних типів, які дозволяють проводити їх багаторазове з'єднання/роз'єднання (до 500... 1000 разів) без видимого погіршення оптичних характеристик. Найчастіше використовуються з'єднувачі типів FC, SC, ST. Менше – з'єднувачі FDDI, DIN, E2000 тощо.

Основою конструкції роз'ємних оптичних з'єднувачів є система "втулка - гільза". Діаметр втулки 2,499 мм практично для всіх з'єднувачів. Якщо втулка виготовлена з кераміки, вона більш надійна та менше стирається, ніж пластмасова або з нержавіючої сталі. Останні два матеріали використовують для з'єднувачів, які застосовуються в локальних мережах передачі даних.

Різні типи оптичних з'єднувачів відрізняються конструкцією корпусу (рис. 4.5):

- FC (Fiber Connection);
- SC (Subscriber Connector);
- ST (Straight Tip);
- FDDI (Fiber Distributed Data Interface);
- DIN (Digital Interface Network).

Оптичні з'єднувачі відрізняються величиною зношуваних втрат та затуханням зворотного відбиття.

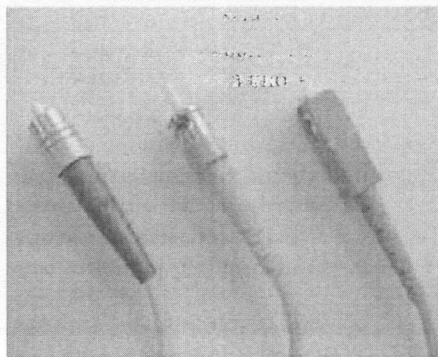


Рисунок 4.5 – Оптичні шнури, армовані з'єднувачами FC, SC, ST

Вношувані втрати потужності оптичного з'єднувача залежать від:

- похибки геометрії ОВ;
- різниці коефіцієнтів заломлення ОВ;
- забруднення поверхні торців ОВ, які з'єднуються;
- неточності юстування ОВ один відносно другого;
- присутності повітряного зазору між волокнами, які з'єднуються.

Величина зворотного відбиття з'єднувача, переважно, залежить від виду шліфування торців. Для з'єднувачів використовуються такі види шліфування:

- плоске шліфування (без аббревіатури в позначенні з'єднувача);
- шліфування PC (Physical Contact – фізичний контакт), якій має різновидності:

- 1) SPC (Super Physical Contact – суперякісний фізичний контакт);
- 2) UPC (Ultra Physical Contact – ультраякісний фізичний контакт);
- 3) шліфування APC (Angle Physical Contact – кутовий фізичний контакт).

При плоскому шліфуванні між торцями волокон, які з'єднуються, завжди є повітряний зазор, що виникає за рахунок мікроскопічних нерівностей торців. При цьому величина зворотного відбиття становить величину близько 15 дБ. Тому таке шліфування використовується тільки для з'єднувачів в локальних оптичних мережах на основі багатомодових ОВ.

Шліфування PC виконується на торцевій поверхні оптичної втулки в вигляді частини сфери, що виключає повітряний зазор в місці з'єднання. Загасання відбиття – не менше 40 дБ. Покращене шліфування поверхні SPC, UPC забезпечує загасання відбиття приблизно 50...55 дБ. При багаторазовому з'єднанні/роз'єднанні в таких з'єднувачах зворотне відбиття погіршується до значення, типового для стандартного шліфування PC за рахунок появи мікроподряпин на шліфованій поверхні (рис. 4.6).

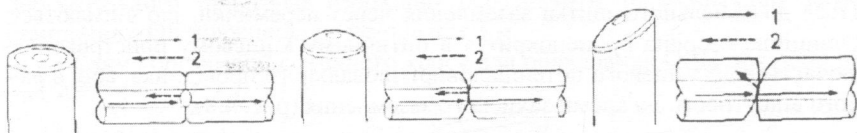


Рисунок 4.6 – Шліфування поверхні

Шліфування APC забезпечує зворотне відбиття не гірше 60 дБ за рахунок натиску контактної поверхні на кут приблизно 8° від перпендикуляра до осі ОВ. З'єднувачі APC застосовуються в оптичних лініях аналогових і високошвидкісних цифрових систем передачі.

Крім вищеперелічених використовуються також мініатюрні оптичні з'єднувачі SFF (Small Form Factor), LC, MT-RJ, VF-45, Opti-Jack, MU. В них використовують втулки зменшеного діаметра 1,249 мм та корпуси, як в з'єднувачах SC або RJ 45, який є стандартним для структурованих кабельних мереж (рис. 4.7).

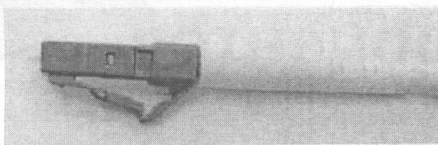


Рисунок 4.7 – Мініатюрний оптичний з'єднувач типу SFF

При виконанні вводів лінійних ОК в об'єкти зв'язку ця операція виконується через приміщення для введення кабелів (кабельна шахта).

У приміщенні для введення кабелів розміщуються кабельний щиток та станційна муфта. Металеві конструктивні елементи лінійних ОК мають бути підключені до заземлення через кабельний щиток за допомогою мідного провідника з площею поперечного перерізу не менше 4 мм. Підключення виконується через перемички, які знімаються, або клемний щиток (щиток КВП). Це дає можливість підключати до металевих елементів лінійного кабелю трасопошукові прилади контролю опору ізоляції між бронею і землею.

Лінійний оптичний кабель з'єднується з об'єктовим ОК, який має бути підключений до оптичного кінцевого пристрою (оптичного кросу). Об'єктовий ОК не має металевих конструктивних елементів, а зовнішня оболонка має бути з матеріалу, який не поширює горіння. До сьогодні можлива прокладка лінійного ОК до кінцевого кабельного пристрою, якщо його розміщують в трубі з матеріалу, який не поширює горіння (сталь, полівінілхлорид, металорукав). В цьому випадку на металевому бронепокритті необхідно виконати кільцевий розрив на довжині 100... 150 мм. Лінійна сторона бронепокриття мідним провідником з $S > 4 \text{ мм}^2$ підключа-

ється до кабельного щитка заземлення через перемички, що знімаються. Станційна сторона бронепокриття в оптичному кінцевому пристрої підключається до кінцевого потенціаловирівнювального провідника, або, в разі його відсутності, до клеми захисного заземлення (рис. 4.8).

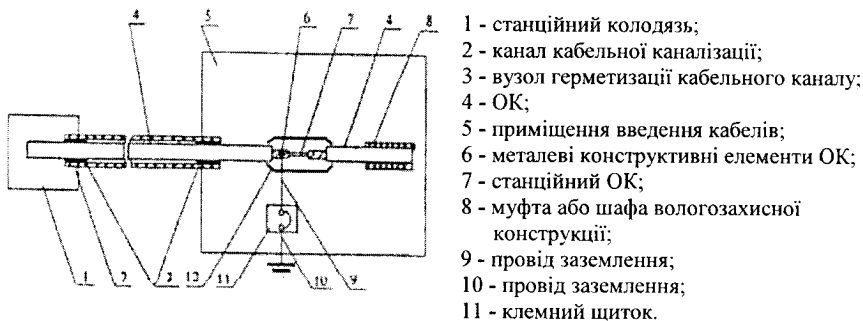


Рисунок 4.8 – Схема введення ОК в приміщення вузла зв'язку

Одна з основних вимог до станційних ОК, які прокладаються в технологічних приміщеннях об'єктів зв'язку, – це прокладання цілих відрізків оптичних кабелів, захисна оболонка яких не має поширювати горіння, між точками підключення від станційної муфти до кінцевого пристрою.

Не допускається прокладання станційних ОК над поверхнями, які нагріваються, а також над і під маслопроводами та трубопроводами для горючої рідини.

У технологічних приміщеннях об'єктів зв'язку (шахта, крос, лінійно-апаратний цех (ЛАЦ)) ОК прокладається по існуючих металевих кабельростах із подальшою «прошивкою». В ЛАЦ, де на кросі прокладається ОК, і можливим є пошкодження кабелю при виконанні інших робіт, рекомендується встановити окремий кабельрост або захисний жолоб.

Оптичні кабелі одного призначення, які прокладаються по одній трасі, як правило, мають формуватися в кабельні пакети (за винятком прокладання за конструкцією типу «решітка»). При прокладанні по жолобах кабельні пакети або окремі ОК мають укладатися симетрично осі жолоба. Кабельні пакети або окремі кабелі не мають перехрещувати один одного у площині жолоба, а в місцях перехрещення мають укладатися на різних рівнях по висоті на відстані не менше ніж 30 мм один від одного. При великій ємності лінійного ОК на проміжних і кінцевих пунктах ВОСП в технологічних приміщеннях монтується розгалужувальна муфта або шафа, де лінійний ОК розгалужується на кілька станційних ОК меншої ємності. Далі такі станційні ОК подаються у ввідно-кабельний пристрій, де відбувається з'єднання оптичних волокон станційного ОК зі станційними оптичними шнурами методом зварювання. Кожне ОВ кабелю з'єднується зі станційною оптичною панеллю з рознімом на другому кінці (pigtail). Для монтажу вві-

дно-кабельного пристрою необхідно передбачити технологічний запас станційного ОК довжиною не менше ніж 5 м.

Схему організації оптичного кросу для обладнання ОСП показано на рис. 4.9.

- 1 - станційна муфта;
- 2 - оптичний розподільний щит;
- 3 - модуль розподільного щита;
- 4 - станційний ОК;
- 5 - оптична кросова панель (бокс);
- 6 - модулі (розгалужувані, перемикачі, мультиплексори);
- 7 - короб для оптичних кабелів та шнурів;
- 8 - оптичні з'єднувальні шнури;
- 9 - обладнання ОСП.

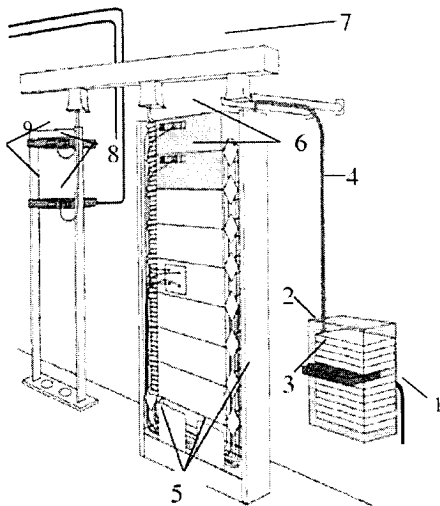


Рисунок 4.9 - Схема організації оптичного кросу

У процесі самостійної підготовки до лабораторної роботи необхідно:

1. Вивчити рекомендовану літературу.
2. Ознайомитись з методами прокладання станційних оптичних кабелів або одноволоконних оптичних шнурів по кабельростах та решітках з прошивкою, в жолобах.
3. Ознайомитись з методами монтажу або ремонту одноволоконних оптичних шнурів типу pigtail в кінцевому кросовому обладнанні (згідно з завданням викладача).
4. Ознайомитись з методами монтажу станційних оптичних муфт.

Домашнє завдання

- 1 Вивчіть основи імпульсних методів вимірювання параметрів оптичних волокон.
- 2 Обчисліть параметри рефлектометра, який працює у трьох вікнах прозорості кварцового скла.

Значення коефіцієнтів розсіювання α , та загасання α ОВ наведено в таблиці 4.3. За формулою обчисліть втрати на зворотне розсіювання α , для трьох значень λ та α , що зазначено в табл. 4.3, для $N = 0,2$; $\tau = 100$ нс та значення n , яке зазначено в таблиці 4.4 відповідно до варіанта. Номер варіанта відповідає останній цифрі залікової книжки.

Таблиця 4.3 – Значення α , та α

λ , мкм	0,85	1,3	1,55
α , 1/км	0,250	0,045	0,025
α , дБ/км	4,0	1,0	0,5

Таблиця 4.4 – Значення n

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,470	1,473	1,475	1,478	1,480	1,483	1,485	1,487	1,490	1,493

Потім за формулою визначити динамічний діапазон вимірювання рефлектометра для значення коефіцієнта загасання ОВ із табл. 4.3, вважаючи, що $Q = 90$ дБ та $\alpha_{\text{вв}} = 8$ дБ.

Проаналізуйте одержані результати та поясніть причини зміни параметрів рефлектометра за збільшення довжини хвилі випромінювання.

Для вимірювача місць ушкоджень ОВ обчисліть відстань до місця відбивальної неоднорідності в східчастому ОВ, яке має значення показника заломлення серцевини згідно з табл. 4.4, якщо час поміж зондувальним імпульсом та відбитим $\Delta t = 25$ нс.

Для значень, одержаних в попередньому пункті, визначити роздільну здатність рефлектометра за довжиною Δx , якщо тривалості зондувального імпульсу $\tau = 50$ нс, а сумарна дисперсія ОВ становить 10 нс/км.

Опис лабораторного обладнання

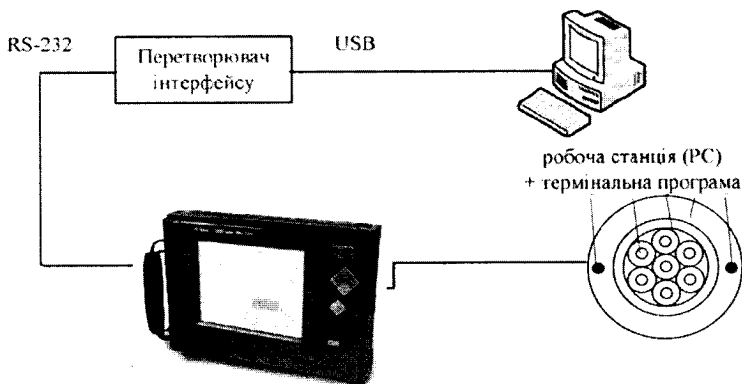


Рисунок 4.10 – Структурна схема лабораторного станда для визначення параметрів напрямних систем оптичного зв'язку

Порядок виконання роботи

4.1 Провести прокладання станційних оптичних кабелів або одноволоконних оптичних шнурів по решітках, кабельростах в жолобах.

4.2 Виконати монтаж або перемонтаж одноволоконних оптичних шнурів типу pigtail в кросовому обладнанні.

4.3 Виконати з'єднання двох одноволоконних оптичних шнурів або станційного ОК і оптичного шнура, методом зварювання.

4.4 Захистити місце зварювання за допомогою захисної гільзи.

4.5 Викласти запаси довжин оптичного волокна станційного ОК або оптичного шнура.

4.6 Виконати ідентифікацію ОВ станційного ОК або оптичного шнура.

Вказівки до звіту

1. Навести технічні характеристики станційного ОК та оптичного шнура.

2. Накреслити кросове обладнання та підключення станційного ОК та оптичних шнурів.

3. Накреслити схему прокладання станційного ОК та оптичних шнурів.

4. Накреслити схему з'єднання лінійного і станційного ОК в станційній оптичній муфті, з підключенням металевих елементів лінійного ОК.

5. За завданням викладача виміряти втрати потужності в місці зварного з'єднання оптичних волокон.

Контрольні запитання.

1 Дайте означення фізичних явищ відбиття та розсіювання світла.

2 Поясніть призначення блоків, поданих на структурній схемі приладу для досліджень ОВ імпульсним методом.

3 Поясніть, як обчислити відстань до великих відбивальних випромінювань неоднорідностей ОВ?

4 Як обчислити коефіцієнт загасання за кривою зворотного розсіювання (див. рис. 4.5)?

5 Які характеристики та параметри ОВ можна визначити за допомогою вимірника місць обривання та які за допомогою рефлектометра?

6 Наскільки відмінні рівні сигналів, відбитих від гладенького сколу, перпендикулярного до осі волокон та зворотно-розсіюваних ?

- 7 Що розуміють під поняттям динамічний діапазон вимірювання рефлектометра та на що він витрачається?
- 8 Як обчислити мінімально можливу довжину ОВ, параметри якого можуть бути виміряні рефлектометром?
- 9 Як визначити роздільну здатність рефлектометра за довжиною (точність визначення місць неоднорідностей)?
- 10 Назвіть та поясніть методи оптимізування характеристик рефлектометра.
- 11 Якими методами вимірюється загасання ОК?
- 12 Як вимірюють опір ізоляції захисного шланга?
- 13 Норми на параметри ОК.
- 14 Які обсяги випробувань виконують при прийомі ЛС ВОЛП в експлуатацію?
- 15 На яких довжинах хвиль проводять випробування?

Лабораторна робота № 5

Тема: дослідження основних характеристик цифрових ліній передавання за допомогою програми xDSLcalc.

Мета роботи: виконати дослідження функціональних характеристик цифрових лінійних трактів за допомогою програми xDSLcalc.

- Обладнання:**
1. Персональний комп'ютер з ОС Windows 7 (64);
 2. Програмне забезпечення xDSLcalc;
 3. Методичні вказівки до роботи з xDSLcalc.

Теоретичні відомості

Програма xDSLcalc забезпечує розрахунок частотних характеристик цифрових абонентських ліній ADSL, ADSL2, ADSL2+, VDSL2, VDSL2 vectoring та SHDSL, які зумовлюють використання різних типів кабельних ліній зв'язку за різних умов їх завантаження. САПР дозволяє проаналізувати різні варіанти побудови мереж доступу; порівняти частотні характеристики ліній xDSL різних типів та частотних планів. Програма «xDSLcalc» дозволяє побудувати графіки залежності швидкості передавання даних від довжини лінії зв'язку при заданих вихідних параметрах:

1. Тип кабеля для цифрової лінії передавання:

а) ЗКП 1×4×1,2 (призначений для кабельних ліній зонових систем передавання);

б) КСПП 1×4×0,9 та 1×4×1,2 (призначені для ліній міжстанційних та абонентських систем передавання місцевих телефонних мереж);

в) МКС N×4×1,2 (використовується на міжміських кабельних магістралях та з'єднувальних лініях міських телефонних мереж);

г) ТПП N×2×0,4 та N×2×0,5 (призначені для експлуатації на місцевих первинних мережах зв'язку для організації абонентських ліній передавання);

д) ТЦП N×2×0,5; N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64; N×2×0,9 (призначені для організації абонентських ліній відомчих телефонних мереж при прокладанні ліній зв'язку всередині приміщень та будівель);

2. Кількість (пар) провідників в кабелі (ємність M пучка кабелю);

3. Завантаженість кабельної лінії передавання (завантаженість m пучка кабелю) (кількість ліній xDSL);

4. Норми ELFEXT для 1 км. Може бути задана частота норми в кГц та набір можливих значень норми в дБ;

5. Діапазон та крок зміни довжини кабельної лінії передавання;

6. Тип лінії xDSL:

а) ADSL Annex A та Annex B;

б) ADSL2 Annex A та Annex B;

в) ADSL2+ Annex A та Annex B;

г) SHDSL (TC-PAM4, TC-PAM8, TC-PAM16, TC-PAM32, TC-PAM64);

д) VDSL2 (профілі 8a, 12a, 17a, 30a);

7. Запас за заводозахищенням (SNR Margin);

8. Шаблон завод на вході приймача (від -90 до -160 дБм на Гц з кроком 10).

При цьому можна одночасно побудувати до 10 графіків, які будуть відрізнятись одним із параметрів.

На рисунку 5.1 відображено головне вікно програми.

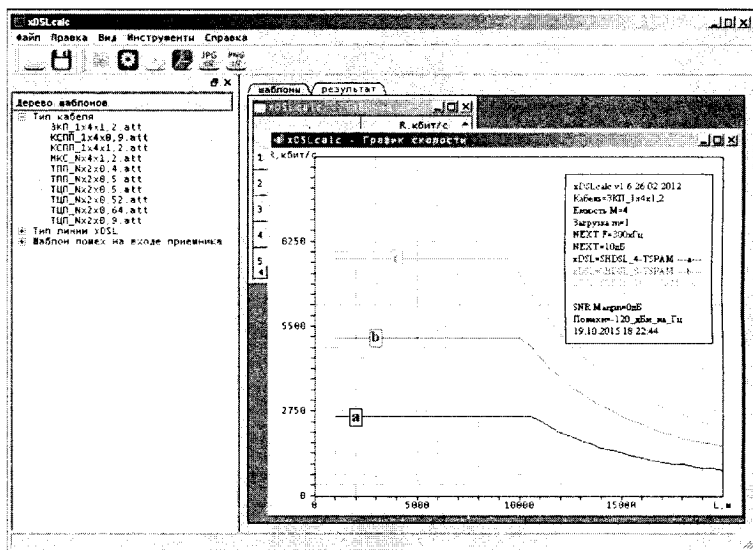


Рисунок 5.1 – Загальний вигляд програми xDSLcalc

На рисунку 5.2 відображено вікно введення вихідних даних. Це функціональне вікно програми можна відкрити за допомогою клавіші F5 або при виборі пункту меню «Інструменти» - «Введення вихідних даних». На рисунку 5.2 для прикладу введено вихідні дані, що відповідають відображеним на рисунку 5.1 графікам.

За допомогою відповідних пунктів підменю «Інструменти» – «Графік», а також спеціальних клавіш на панелі інструментів програми побудовані графіки можуть бути експортовані в формати PDF, JPG та PNG.

За допомогою відповідного пункту підменю «Інструменти» – «Таблиця», а також спеціальної клавіші на панелі інструментів програми таблиця значень для побудови графіків може бути експортована у формат CSV (проста таблиця MS Excel/LO Calc).

За допомогою пункту меню «Інструменти» – «Графік» – «Налаштування» (клавіша «F6») та спеціальна клавіша на панелі інструментів програми можна відкрити вікно налаштування параметрів графіка, як показано на рисунку 5.3.

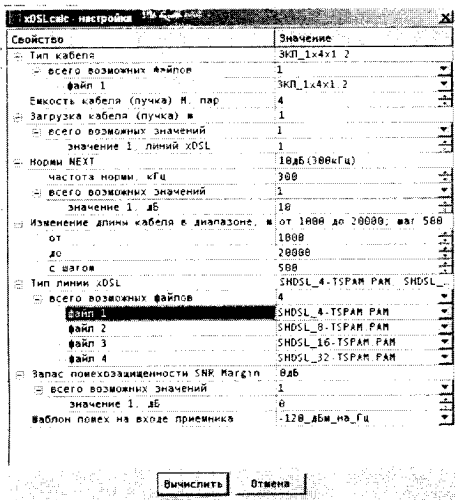


Рисунок 5.2 – Вікно введення вихідних даних для побудови графіків в програмі xDSLcalc

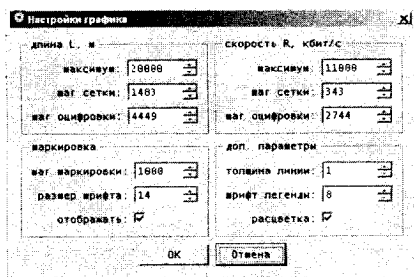


Рисунок 5.3 – Вікно налаштування параметрів графіка в програмі xDSLcalc

Програма xDSLcalc запускається через головне меню «Головне меню» – «Емулятори мережних пристроїв» – «xDSLcalc».

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Виконати розрахунок первинних (опір та індуктивність провідників, сміність та провідність ізоляції між провідниками) та вторинних параметрів (хвильовий опір, коефіцієнт згасання та фази, а також швидкість поширення енергії) симетричних ліній передачі відповідно до вихідних даних в таблиці 5.1 [1, 2].

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку первинних та вторинних параметрів симетричних ліній передачі

Параметри		Варіант																	
		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
		Тип скрутки																	
Провідник	Ізоляція	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна	Парна	Зіркоподібна
		Діаметр, d, мм		1,2		1,0		1,3		0,9		1,4		1,7		1,5		1,8	
Діаметр в ізоляції, d _i , мм		3,0		2,8		3,1		2,7		3,2		3,0		2,8		3,1		2,7	
Діаметр групи, d _г , мм		6,0		8,0		5,6		7,6		6,2		6,0		8,0		5,6		7,6	
Відстань між провідниками, a, мм		3,0	3,1	5,0	2,8	4,6	3,1	8,2	5,4	7,4	6,4	8,4	3,5	5,5	3,2	5,1	3,6	4,5	5,5
Крок скрутки, h, мм		55	53	45	55	40	60	52	27	45	32	53	55	50	60	45	65	55	50
Діелектрична проникність, ε		1,2		1,25		1,3		1,25		1,2		1,15		1,35		1,25		1,15	
Тангенс кута діелектричних втрат		3 · 10 ⁻⁴		3,5 · 10 ⁻⁴		2,5 · 10 ⁻⁴		4 · 10 ⁻⁴		2 · 10 ⁻⁴		2,5 · 10 ⁻⁴		3 · 10 ⁻⁴		2 · 10 ⁻⁴		3,5 · 10 ⁻⁴	
Опір, R _н , МОм		10000																	
Робоча частота, f, МГц		10		5		15		1		20		5		25		5		10	

Результати розрахунків записати у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку первинних та вторинних параметрів симетричних ліній передачі

Параметри	Тип скрутки	
	Парна	Зіркоподібна
Первинні		
Опір провідників, Ом/км		
Індуктивність провідників, мГн/км		
Ємність між провідниками, нФ/км		
Провідність ізоляції між провідниками, мСм/км		
Вторинні		
Хвильовий опір, Ом		
Коефіцієнт затухання, дБ/км		
Коефіцієнт фази, рад/км		
Швидкість поширення енергії, км/с		

3. Виконати розрахунок первинних (опір та індуктивність провідників, ємність та провідність ізоляції між провідниками) та вторинних параметрів (хвильовий опір, коефіцієнт затухання та фази, а також швидкість поширення енергії) коаксіальних ліній передачі відповідно до вихідних даних в таблиці 5.3 [1, 2].

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для розрахунку первинних та вторинних параметрів коаксіальних ліній передачі

Параметр	Варіант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Діаметр внутрішнього провідника, d_i , мм	2,6	5	1,83	1,2	5	2,6	5	2,6	1,2	2,6	1,9	2,0
Діаметр зовнішнього провідника, d_e , мм	9,4	18	6,7	4,6	18	9,4	12	10	4,6	6,2	7,1	12
Діелектрична проникність ізоляції, ϵ	1,1	1,19	1,2	1,25	1,05	1,08	1,2	1,45	1,3	1,4	1,15	1,0
Тангенс кута діелектричних втраг	$3 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
Робоча частота, f , МГц	1	2	0,6	0,1	4	3	2,5	1,5	3	2	5	10

Результати розрахунків записати у таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунку первинних та вторинних параметрів коаксіальних ліній передачі

Параметр	R, Ом/км	L, Гн/км	C, Ф/км	G, См/км	α , См/км	β , рад/км	$Z_{хв}$, Ом	v , км/с
Результат								

Опис лабораторного обладнання

На рис. 5.4 наведено структурну схему лабораторного стенда дослідження цифрових ліній передавання на базі ПК. Для нормальної роботи програми керування необхідний PC з такою конфігурацією:

Центральний процесор: Pentium III/AMD Processor

Програмне забезпечення: Microsoft Windows XP

(SP2 or higher)/Vista/Windows 7.

Оперативна пам'ять: 512 МБ. HD: 160 ГБ.

Монітор: VGA. (1024×768).

Миша / Клавіатура. Інтерфейс COM – Port RS-232 або USB-2.0.

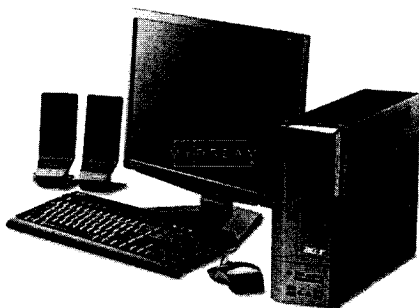


Рисунок 5.4 – Структурна схема лабораторного стенда дослідження ЦЛЗ на базі ПК

Порядок виконання роботи

1. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі кабелю ЗКП 1×4×1,2. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабеля для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2.

Варіант 1. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM4; TC-PAM8; TC-PAM16; TC-PAM32; TC-PAM64. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

Варіант 2. Тип лінії xDSL: VDSL2 профілі 8a us; 12a us; 17a us; 30a us. Шаблон завад на вході приймача: -100 дБм на Гц.

Варіант 3. Тип лінії xDSL: ADSL2+ Annex A. SNR Margin: 0 дБ; 1 дБ; 2 дБ; 24 дБ; 30 дБ. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

Варіант 4. Тип лінії xDSL: ADSL Annex A та Annex B; SHDSL TC-PAM4; TC-PAM8; TC-PAM16. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

Варіант 5. Тип лінії xDSL: ADSL Annex A та Annex B; SHDSL TC-PAM4; TC-PAM8; TC-PAM16. Шаблон завад на вході приймача: -110 дБм на Гц.

2. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі кабелю МКС $N \times 4 \times 1,2$. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: МКС $N \times 4 \times 1,2$.

Варіант 1. Тип лінії xDSL: ADSL Annex A та Annex B; ADSL2 Annex A та Annex B; ADSL2+ Annex A та Annex B. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

Варіант 2. Тип лінії xDSL: ADSL Annex B. SNR Margin: 0 дБ; 5 дБ; 8 дБ; 15 дБ; 20 дБ. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

Варіант 3. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM16. SNR Margin: 0 дБ; 5 дБ; 8 дБ; 15 дБ; 20 дБ. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

Варіант 4. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM4. SNR Margin: 2 дБ; 6 дБ; 10 дБ; 15 дБ; 20 дБ. Шаблон завад на вході приймача: -90 дБм на Гц.

Варіант 5. Тип лінії xDSL: VDSL2 17a us. SNR Margin: 7 дБ; 8 дБ; 10 дБ; 12 дБ; 16 дБ. Шаблон завад на вході приймача: -90 дБм на Гц.

3. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі кабелів ТЦП $N \times 2 \times 0,5$; ТЦП $N \times 2 \times 0,52$; ТЦП $N \times 2 \times 0,64$; ТЦП $N \times 2 \times 0,9$. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ТЦП $N \times 2 \times 0,5$; ТЦП $N \times 2 \times 0,52$; ТЦП $N \times 2 \times 0,64$; ТЦП $N \times 2 \times 0,9$.

Варіант 1. Тип лінії xDSL: ADSL2+ Annex A. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

Варіант 2. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM4. SNR Margin: 6 дБ; 12 дБ; 18 дБ; 24 дБ; 30 дБ. Шаблон завад на вході приймача: -100 дБм на Гц.

Варіант 3. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM128. SNR Margin: 0 дБ; 5 дБ; 10 дБ; 20 дБ; 25 дБ; 30 дБ. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

Варіант 4. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM32. SNR Margin: 6 дБ; 12 дБ; 18 дБ; 24 дБ; 30 дБ. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

Варіант 5. Тип лінії xDSL: ADSL2+ Annex B; ADSL2 Annex B; VDSL2 12a ds; SHDSL TC-PAM4 та TC-PAM8. Шаблон завад на вході приймача: -100 дБм на Гц.

4. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі кабелю КСПП $1 \times 4 \times 0,9$; КСПП $1 \times 4 \times 1,2$. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: КСПП $1 \times 4 \times 0,9$; КСПП $1 \times 4 \times 1,2$.

Варіант 1. Тип лінії xDSL: ADSL2+ Annex A. SNR Margin: 0 дБ; 1 дБ; 23 дБ; 30 дБ. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

Варіант 2. Тип лінії xDSL: ADSL Annex A; ADSL2 Annex A; ADSL2+ Annex A; SHDSL TC-PAM16. Шаблон завад на вході приймача: -100 дБм на Гц.

Варіант 3. Тип лінії xDSL: ADSL2 Annex A; ADSL Annex A; VDSL2 30a ds; SHDSL TC-PAM64 та TC-PAM128. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

Варіант 4. Тип лінії xDSL: ADSL2 Annex B; ADSL Annex B; VDSL2 8a us; SHDSL TC-PAM16 та TC-PAM32. Шаблон завад на вході приймача: -150 дБм на Гц.

Варіант 5. Тип лінії xDSL: VDSL2 8a us та 12a us; SHDSL TC-PAM32; TC-PAM64; TC-PAM128. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

5. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі кабелю ТПП N×2×0,4; ТПП N×2×0,5. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ТПП N×2×0,4; ТПП N×2×0,5.

Варіант 1. Тип лінії xDSL: ADSL Annex B; ADSL2 Annex B; ADSL2+ Annex B; SHDSL TC-PAM4. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

Варіант 2. Тип лінії xDSL: ADSL2+ Annex A; ADSL2 Annex A; VDSL2 8a ds; SHDSL TC-PAM16 та TC-PAM32. Шаблон завад на вході приймача: -110 дБм на Гц.

6. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; КСПП 1×4×1,2; МКС N×4×1,2. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; КСПП 1×4×1,2; МКС N×4×1,2. Тип лінії xDSL: VDSL2 12a ds. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

7. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ЗКП 1×4×1,2; МКС N×4×1,2; КСПП 1×4×1,2; ТПП N×2×0,4; ТЦП N×2×0,5. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2; МКС N×4×1,2; КСПП 1×4×1,2; ТПП N×2×0,4; ТЦП N×2×0,5. Тип лінії xDSL: VDSL2 30a ds. Шаблон завад на вході приймача: -140 дБм на Гц.

8. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ТПП N×2×0,4; ТПП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,64; ТЦП N×2×0,9. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ТПП N×2×0,4; ТПП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,64; ТЦП N×2×0,9. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM16. Шаблон завад на вході приймача: -80 дБм на Гц.

9. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; КСПП 1×4×1,2; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,9. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; КСПП 1×4×1,2; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,9. Тип лінії xDSL: ADSL Annex A. Шаблон завад на вході приймача: -110 дБм на Гц.

10. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; КСПП 1×4×1,2; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; КСПП 1×4×1,2; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Тип лінії xDSL: ADSL Annex A. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

11. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×1,2; МКС N×4×1,2; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×1,2; МКС N×4×1,2; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Тип лінії xDSL: SHDSL TC-PAM32. Шаблон завад на вході приймача: SHDSL.

12. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; ТПП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; ТПП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Тип лінії xDSL: VDSL2 17a us. Шаблон завад на вході приймача: -120 дБм на Гц.

13. Виконати дослідження параметрів ЦЛЗ на основі різних типів кабелю ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; ТПП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Для цього необхідно спочатку вибрати вихідні дані згідно з варіантом індивідуального завдання.

Тип кабелю для ЦЛЗ: ЗКП 1×4×1,2; КСПП 1×4×0,9; ТПП N×2×0,5; ТЦП N×2×0,52; ТЦП N×2×0,64. Тип лінії xDSL: VDSL2 8a us. Шаблон завад на вході приймача: -90 дБм на Гц.

Вказівки до звіту

Звіт має містити результати виконання домашнього завдання, схеми комп'ютерних моделей для дослідження основних параметрів ЦЛЗ за допомогою програми xDSLcalc.

Контрольні запитання

1. Поясніть технологію ADSL.
2. Порівняйте різновиди технології ADSL Annex A та Annex B.
3. Порівняйте технології ADSL, ADSL2 та ADSL2+.
4. Поясніть технологію SHDSL.
5. Поясніть особливості формування модуляції TC-PAM.
6. Поясніть технологію VDSL2.
7. Порівняйте різновиди технології VDSL2 8a та 12a.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортник Г. Г. Транспортні телекомунікаційні технології : навчальний посібник / Бортник Г. Г., Кичак В. М., Васильківський М. В. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 162 с.
2. Бортник Г. Г. Транспортні інфокомунікаційні системи : лабораторний практикум / Бортник Г. Г., Кичак В. М., Васильківський М. В. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 139 с.
3. Фокин В. Г. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи : учебное пособие / Фокин В. Г., Ибрагимов Р. З. – Новосибирск : СибГУТИ, 2016. – 162 с.
4. Бортник Г. Г. Напрямні телекомунікаційні системи : навчальний посібник / Бортник Г. Г., Кичак В. М., Васильківський М. В. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 121 с.
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. – 372 с.
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 Chengjin Xie Enabling Technologies for High Spectral-Efficiency Coherent Optical Communication Networks - Wiley, 2016.
9. Herbert Venghaus, Norbert Grote Fibre Optic Communication - Springer Series in Optical Sciences, 2017.
10. Фокин В. Г. Оптические мультиплексоры OADM/ROADM и коммутаторы РХС в мультисервисной транспортной сети : учебное пособие / Фокин В. Г. – Новосибирск : СибГУТИ, 2011. – 203 с.
11. Соломенчук В. Д. Оптические транспортные сети / Соломенчук В. Д., Мищенко В. А., Гура К. Н. – К. : ЦПО, 2014. – 294 с.
12. Le Nguyen Binh Advanced Digital Optical Communications. – European Research Center, Huawei Technologies, Munich, Germany, CRC Press London New York, 2015.
13. Shiva Kumar and M. Jamal Deen Fiber Optic Communications Fundamentals and Applications - Department of Electrical and Computer Engineering, McMaster University, Canada, 2014.
14. Цуканов В. Н. Волоконно-оптическая техника: практическое руководство / В. Н. Цуканов, М. Я. Яковлев. – М. : Инфа-Инженерия, 2014. – 304 с.

Додаток А

Зразок титульного аркуша 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 електричних параметрів та пошук пошкоджень в напрямних системах електричного зв'язку за допомогою аналізатора кабельних ліній RD 6000 DSL»

з дисципліни «Напрявні системи електричного та оптичного зв'язку»

Прийняв

Доцент кафедри ТКСТБ _____ М. В. Васильківський

Захистили

Студенти групи ТКС-18м _____ С. В. Вітюк

_____ М. М. Кравчук

2021

Навчальне видання

**Бортник Геннадій Григорович
Васильківський Микола Володимирович
Кичак Василь Мартинович**

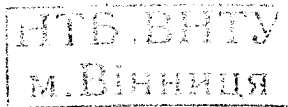
**НАПРЯМНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ
СИСТЕМИ**

Лабораторний практикум

Рукопис оформлено *М. Васильківським*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет виготовлено *Т. Крикливою*



Підписано до друку 14.09.2021.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 6,24.
Наклад 50 (1-й запуск 1–21) пр. Зам. № 2021-094.

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;

Email: irvc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

SONET/SDH, Ethernet or Other
transmission Equipment

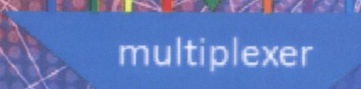


Client signal

Muxponder



Line signal



CWDM/DWDM
Multiplexer

