

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ

Кафедра телекомунікаційних технологій та автоматики



О. А. Герцій, Н. І. Кокряцька

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ

Методичні рекомендації
щодо виконання лабораторних і практичних робіт
та організації самостійної роботи

Для студентів безвідривної форми навчання
спеціальності 6.050202 «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Київ 2012

УДК 681.322

Герцій О. А., Кокряцька Н. І.

Волоконно-оптичні системи передачі: Методичні рекомендації щодо виконання лабораторних і практичних робіт та організації самостійної роботи для студентів спеціальності 6.050202 «Автоматика та автоматизація на транспорті» заочної форми навчання. – К.: ДЕТУТ, 2012 – 28 с.

Методичні рекомендації містять завдання до лабораторних і практичних робіт та рекомендації щодо їх виконання. Також даються загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи з дисципліни, у тому числі щодо виконання теоретичних завдань контрольної роботи. Наводиться система поточного та підсумкового контролю знань студентів; список рекомендованої літератури.

Призначені для студентів спеціальності 6.050202 «Автоматика та автоматизація на транспорті» безвідривної форми навчання і відповідають програмі курсу «Волоконно-оптичні системи передачі».

Методичні рекомендації розглянуті та затверджені на засіданні кафедри (протокол № 5 від 10 січня 2011 р.) та на засіданні методичної ради факультету (протокол № 7 від 23 лютого 2011 р.).

Укладачі: *О. А. Герцій*, канд. техн. наук, доцент каф. ТТА
Н. І. Кокряцька, канд. техн. наук, доцент каф. ТТА

Рецензенти: *Л. П. Пасічник*, канд. техн. наук, доцент каф. ТТА, ДЕТУТ;
Р. В. Селезньова, канд. техн. наук, доцент каф. медичної фізики, апаратури та інформатики Вінницького національного медичного університету

ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	4
<i>Частина I. Лабораторні роботи</i>	5
Лабораторна робота 1	5
Лабораторна робота 2	11
Лабораторна робота 3	13
<i>Частина II. Завдання на практичне заняття</i>	18
Завдання	18
<i>Частина III. Завдання на самостійну роботу</i>	21
Розрахункові завдання для самостійного виконання	23
<i>Список літератури</i>	28

Вступ

Методичні рекомендації щодо виконання лабораторних і практичних робіт та організації самостійної роботи студентів з дисципліни «Волоконно-оптичні системи передачі» розроблені відповідно до навчальної та робочої програми дисципліни і призначені для студентів спеціальності 7.092507 «Автоматика та автоматизація на транспорті» безвідривної форми навчання.

Вивчення дисципліни «Волоконно-оптичні системи передачі» передбачає засвоєння навчального матеріалу під час аудиторних занять, а також у формі самостійної та індивідуальної навчально-дослідної роботи (контрольної роботи), призначеної формувати практичні навички роботи студентів із спеціальною літературою, орієнтувати їх на інтенсивну роботу, критичне осмислення набутих знань та глибоке вивчення теоретичних і практичних проблем, з якими пов'язана діяльність інженера з автоматики та автоматизації на залізничному транспорті.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу з дисципліни може виконуватися у бібліотеці, навчальних кабінетах та лабораторіях, у домашніх умовах. Згідно з навчальним планом дисципліни «Волоконно-оптичні системи передачі» на самостійну роботу студентів заочної форми навчання відведено 156 години, з них 48 – на виконання завдання контрольної роботи. Рациональна організація самостійної роботи вимагає від студента вмілого розподілу свого часу між аудиторною та позааудиторною роботою. Виконання завдань із самостійної та індивідуальної роботи є обов'язковим для кожного студента.

Методичні рекомендації щодо виконання лабораторних і практичних робіт та організації самостійної роботи студентів містять: завдання до лабораторних робіт, завдання на практичну роботу та рекомендації щодо їх виконання. Також даються загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи з дисципліни, у тому числі щодо виконання теоретичних завдань контрольної роботи. Наводиться система поточного та підсумкового контролю знань студентів; список рекомендованої літератури.

Частина I. Лабораторні роботи

Лабораторна робота 1 Дослідження стандартів синхронного передавання

Мета роботи: Дослідити необхідну надлишкову потужність у волоконно-оптичній лінії синхронного типу.

Основні теоретичні положення

Стандарт синхронної волоконно-оптичної системи передачі був розроблений американським інститутом національних стандартів (ANSI) асоціацією по обміну стандартами (ESCA) як засіб, що забезпечує стандартизацію електричних і оптичних інтерфейсів для систем передачі. Він забезпечує стандартизацію оптичного інтерфейсу, допомагаючи домогтися сумісності устаткування різних виробників, а також єдності електричного мультиплексування, що дозволяє об'єднати і передавати різні, раніше несумісні формати сигналів. Даний стандарт визначає:

- північноамериканську ієрархію сигналів, використовуваних сьогодні в цифрових телефонних системах (DS-0, DS-1, DS-1c, DS-2, DS-3), цифрову мережу з інтеграцією служб (ISDN) і четвертий ієрархічний рівень DS4NA, що є міжнародним стандартом;
- набір стандартизованих сигналів керування мережею, що забезпечують відповідне проходження користувальницької інформації.

Таким чином, відповідно до структури SONET, вона складається з канално-лінійного, секційного рівнів і рівня волоконної оптики, однак не все устаткування вимагає використання всіх рівнів. Так, наприклад, у регенераторі є в наявності тільки секційний рівень і рівень волоконної оптики, а в терміналах, що не займаються пуском і вставкою сигналів, відсутній каналний рівень. Розглянемо особливості даних рівнів, представивши модель SONET на рис. 1.

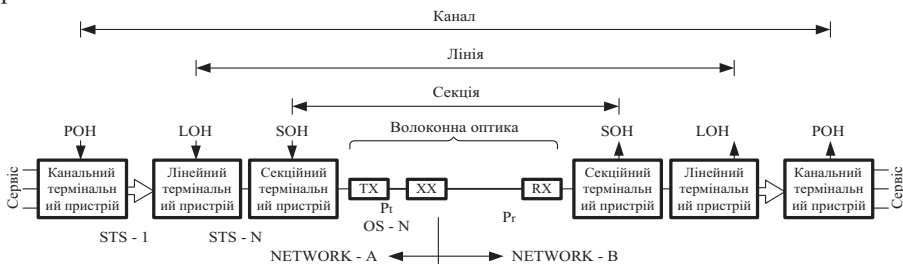


Рис. 1. Модель SONET

Канальний рівень

Канальний рівень є вищим рівнем SONET/SDH ієрархії. Він забезпечує підготовку і мультиплексування сигналу, необхідні для об'єднання переданих сигналів (називаних «послуги») разом з будь-якими маршрутними заголовками

(РОН) у єдиний цифровий (бітовий) потік у вигляді синхронного фрейму (SPE). Канал визначається як логічне з'єднання між точкою, яка створює стандартний цикл SPE, і точкою, у якій він роз'єднується. Зв'язок у межах рівня лінії здійснюється через РОН. При цьому сигнали, що мають швидкість передачі даних нижче мінімальної швидкості лінійного рівня STS-1 (51,480 Мбіт/с), переносяться у віртуальних потоках, що поєднуються із сигналами інших віртуальних потоків за допомогою устаткування, встановленого наприкінці лінії, щоб створити сигнал SPE, що має STS-швидкість передавання даних і формат, сумісний з устаткуванням лінійного рівня. Швидкості мультимплексування STS-N і віртуального потоку приведені табл. 1.

Хоча більша частина мультимплексування (чи перетворення) конвертує сигнали в STS-1 фрейми відповідно до стандарту, передбачений також формат суперфрейму STS-N, що призначений для виконання таких множинних послуг, як ширококутний канал ISDN Н4.

У результаті стандартизації досягається сумісність мультимплексорів і волоконної оптики, що визначає можливість забезпечення необхідних параметрів сигналу (бітова швидкість і BER, чи смуга частот і SNR) на потрібній для передачі відстані з найменшою кількістю повторювачів. Тут уже стає важливим рішення таких питань, як використання довгої чи короткої довжини хвилі одномодового чи багатомодового оптоволоконного кабелю.

Таблиця 1

Швидкості мультимплексування

Рівень STS	Рівень ОС	Лінійна швидкість (Мбіт/с)	Стандарт перетворення
STS-1	ОС-1	51,840	DS3 при 44,736 МБіт/с SYTRAN при 44,736 МБіт/с DS4 при 139,264 МБіт/с
STS-3	ОС-3	155,520	
STS-9	ОС-9	466,560	
STS-12	ОС-12	622,080	
STS-18	ОС-18	933,120	
STS-24	ОС-24	1244,160	
STS-36	ОС-36	1866,240	
STS-48	ОС-48	2488,320	
Швидкості віртуального потоку			
VT1,5		1,728	DS1 при 1,544 МБіт/с 2,048 МБіт/с DS1C при 3,152 МБіт/с DS2 при 6,312 МБіт/с
VT2		2,304	
VT3		3,456	
VT6		6,912	

Лінійний рівень

Лінійний рівень призначений для мультимплексування SPE-рівнів траси і службової лінії в бітовий потік STS-N, що використовує пакетний протокол для подальшої передачі через рівні секції і волоконної оптики. Доступ до ЛОН можливий у всіх точках закінчення лінії, де породжуються сигнали STS-N.

STS найнижчого рівня (STS-1) відповідає швидкості 51,840 Мбіт/с і складається з 810 байт (6480 біт) з довжиною циклу 125 мкс (8000 циклів у секунду), з яких 27 байт є службовими (ЛОН), а 783 призначені для корисних

фреймів (в основному це дані з 9 байтами для POH). Тому смуга робочих частот комунікаційного каналу лінійного рівня LOH дорівнює 192 кбіт/с. Крім функції мультиплексування лінійний рівень забезпечує технічне обслуговування і захист лінії. Для цього рівня задане переключення захисту 1:1 і 1:N. Кількість каналів, що можуть бути переключені на оптичний захист, складає від 1 до 14.

Рівень секції

Використовуючи пакетний протокол, рівень секції переносить STS-N сигнали через фізичне середовище шляхом перетворення STS-N сигналів і секційних заголовків (SOH) у бітовий потік для рівня волоконної оптики. Крім цього, рівень секції забезпечує формування циклів і перетворення сигналу у вид, сумісний з оптичною передачею рівнем волоконної оптики, а також здійснює моніторинг помилок. Секційний заголовок використовується для комунікаційних операцій, забезпечення, передачі адміністративної інформації, так само як службова лінія. При цьому смуга робочих частот комунікаційного каналу даних SOH складає 576 кбіт/с.

Рівень волоконної оптики

Рівень волоконної оптики – це рівень волоконно-оптичної передачі. Він конвертує електричні сигнали STS-N у синхронні оптичні сигнали (OC-N) з бітовою швидкістю, рівною електричному сигналу STS-N. Специфікації для рівнів потужності, посилення системи, довжини хвилі, фізичної сумісності і форми оптичного імпульсу регламентовані T1X1/87-128R1. Деякі характеристики рівня волоконної оптики відповідно до даного стандарту містять:

Оптичне волокно: одномодове.

Робочі вікна: 1310 нм для SMF; 1550 нм для DS-SMF.

Довжина хвилі центрального лазера:

1310 нм MLM лазер = 1270 нм ÷ 1340 нм залежно від відстані;

1310 нм SLM лазер = 1280 нм ÷ 1340 нм для ліній менше 40 км;

1550 нм MLM лазер = 1525 нм ÷ 1575 нм залежно від відстані.

Ширина спектра:

1310 нм MLM лазер = 3,5 ÷ 30 нм залежно від швидкості і відстані;

1310 нм SLM лазер = менше 1,0 нм;

1550 нм MLM лазер = 3,5 ÷ 30 нм залежно від швидкості і відстані.

Функціонування секції:

10^{-9} BER для 40 км чи менше;

Стандартна секція: 25 км.

Конектори:

Оптичні поворотні втрати: більше 20 дБ;

Стандарти: EIA RS-455-XX і EIA 4750000-A.

Ці параметри приведені тільки як загальне представлення. Для більш детального ознайомлення з даними стандартами і їхнім розвитком необхідно стежити за відповідними публікаціями стандартів.

На рис. 2 приведено елементи волоконно-оптичної лінії зв'язку із зазначенням точок введення і втрат оптичної потужності. Ця схема являє собою узагальнену модель системи і може використовуватися для підрахунку втрат у проміжку між передавачем і приймачем в інших системах, дозволяючи визначити рівень потужності на вході приймача з метою забезпечення роботи системи відповідно до заданих параметрів, беручи до уваги втрати і границі її функціонування.

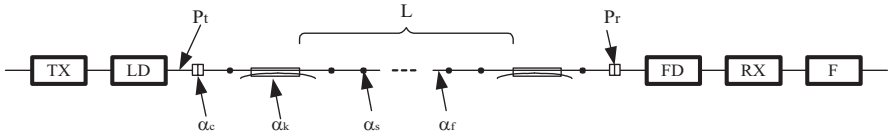


Рис. 2. Узагальнена схема волоконно-оптичної лінії зв'язку

Якщо розрахунковий рівень потужності виявиться вище необхідного, він називається надлишковим рівнем потужності системи, в іншому випадку система може виявитися непрацездатною.

Представимо результуюче значення потужності P_m на виході лінії у вигляді

$$P_m = P_s - \alpha - P - P_r, \quad (1)$$

де P_s – потужність джерела, приєднаного до волокна в дБм (1 мВт); α – втрати в лінії; P – запас по потужності; P_r – чутливість приймача, рівна мінімальному рівню оптичної потужності, що необхідний для забезпечення нормального функціонування системи (SNR чи BER) і визначається в дБ чи мВт у точці приєднання ОВ до оптичного приймача. З огляду на рис. 2, остаточно можна записати:

$$P_m = P_s - \alpha_{\Sigma} - P - P_r, \quad (2)$$

де $P_m \geq 0$ – надлишкова потужність у дБ; $\alpha_{\Sigma} = -n_c \times \alpha_c + n_k \times \alpha_k + n_{sp} \times \alpha_{sp} + \alpha_f \times L$ – сумарні втрати лінії зв'язку; α_c і n_c – втрати конектора і кількість конекторів у лінії; α_k і n_k – втрати відгалужувача і кількість відгалужувачів у лінії; α_{sp} і n_{sp} – втрати зрощування і кількість зрощувань у лінії; α_f і L – коефіцієнт загасання і довжина волокна; $P \geq 0$ – функціональна межа, яка містить:

- 1) межу безпеки, як правило, рівну 3 дБ;
- 2) межу рівня шуму, обмеження смуги частот і перекручування сигналу при передачі.

Тут слід зазначити, що в попередньому рівнянні сумарні внесені втрати конекторів, зрощувань, відгалужувачів і кабелів дають для двохточкової системи в узагальненому вигляді, тому що при іншій топології волоконно-оптичної системи втрати будуть мати інший вигляд. Очевидно, що характеристики системи повинні визначатися для типових режимів, а також для тих випадків, коли умови експлуатації найгірші. Іноді доцільно виявити найкращі параметри роботи, щоб визначити, чи виявиться система здатною направити досить велику потужність на приймач, щоб наситити його. У паспортних даних приймача звичайно вказується максимальна потужність, а рішення проблеми насичення досягається доданням ослаблення до сполучного

кабелю приймача. Якщо ж приймач близький до стану насичення при досягненні найгірших умов, варто розглядати можливість установаження більшої відстані між регенераторами (якщо це допускається) чи більш полегшеного режиму роботи.

Завдання

Для волоконно-оптичної лінії зв'язку (рис. 2) знайти необхідне значення потужності джерела випромінювання – лазер-діода, для забезпечення надлишкового рівня потужності системи.

Варіанти

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

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом.
2. Навести схему волоконно-оптичної лінії зв'язку із зазначенням точок введення оптичного сигналу і втрат оптичної потужності.
3. Вибрати варіант та виконати розрахунки волоконно-оптичної системи з визначенням надлишкового рівня потужності.
4. Зробити висновки по роботі. У висновках потрібно:
 - а) проаналізувати характеристики систем синхронної передачі SDH та Sonet;
 - б) обґрунтувати отримані результати проведених розрахунків;
 - в) порівняти розраховані значення втрат оптичної потужності з нормованими значеннями для подібних систем;

є) за знайденими значеннями рівня потужності та шумів визначити тип лазер-діода (табл. 3.1 [5]), який можна застосувати для побудови синхронної волоконно-оптичної системи передачі;

д) використовуючи знайдені значення потужності джерела випромінювання, а також відомі значення потужностей стандартних оптичних випромінювачів дати рекомендації щодо застосування подібних передавачів.

5. Захистити звіт.

Основні розділи звіту

1. Титульний лист.
2. Тема, мета та завдання лабораторної роботи.
3. Номер та умови варіанта.
4. Розрахунки.
5. Висновки.
6. Відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Що таке синхронний стандарт передавання?
2. Які існують рівні передавання у моделі SONET?
3. Охарактеризуйте каналний рівень.
4. Охарактеризуйте лінійний рівень.
5. Охарактеризуйте рівень секції.
6. Охарактеризуйте рівень волоконної оптики.
7. Як розраховується надлишковий рівень потужності системи?

Література

1. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 671 с.
2. *Корнійчук В.І., Мосорін П.Д.* Волоконно-оптичні компоненти, системи передачі та мережі. – Одеса: Друк, 2001. – 364 с.

Лабораторна робота 2

Напівпровідникові лазерні діоди

Мета роботи: Дослідження параметрів, властивостей та принципу дії напівпровідникових лазерних діодів.

Основні теоретичні положення

Термін «лазер» позначає посилення світла шляхом вимушеної емісії випромінювання. Розглянемо лазерний діод з резонатором Фабрі-Перо. Резонатор в такому лазері утворюється відбивними покриттями, виконаними з двох сторін на торцевих поверхнях гетеропереходу, одна з яких віддзеркалює світло з коефіцієнтом віддзеркалення, близьким до 100%, а інше – напівпрозоре, забезпечує як часткове віддзеркалення, так і вихід оптичного випромінювання. Для посилення світла певної довжини хвилі в FP-лазері, з одного боку, необхідно, щоб ця довжина хвилі знаходилася в межах діапазону, де світло може посилюватися індукованим випромінюванням, а з іншого боку, довжина хвилі повинна задовольняти співвідношенню:

$$D = N\lambda_0/2, \quad (1)$$

де D – діаметр FP резонатора, а N – деяке ціле число.

Розглянемо деякі положення, що стосуються спектра випромінювання лазера. Атомна спектральна лінія (спонтанно випромінююча) володіє деякою шириною. При свіченні газорозрядної плазми низького тиску в оптичному діапазоні переважаючим виявляється доплерівське розширення (внаслідок хаотичного теплового руху випромінюючих атомів).

Як система зворотного зв'язку, в лазерах використовується оптичний резонатор, який в простому випадку є двома плоскими дзеркалами, розташованими паралельно один одному (резонатор Фабрі-Перо). Якщо виконана умова складання амплітуд при інтерференції для випадку хвиль, що розповсюджуються уздовж осі z , перпендикулярної поверхні дзеркал

$$2L = q\lambda, \quad (2)$$

де L – відстань між дзеркалами, λ – довжина хвилі, q – ціле число, то в просторі між дзеркалами виникають стоячі хвилі. Відстань між максимумами в шкалі частот дорівнює:

$$\Delta\nu = \nu_{q+1} - \nu_q = \frac{c}{2L} \quad (3)$$

(коефіцієнт віддзеркалення одного з дзеркал відмінний від 100 %), призводять до того, що умови резонансу виконуються для невеликої смуги $\Delta\nu_p$ частот поблизу кожної з власних частот резонатора ν_q .

Ширина $\Delta\nu_p$ резонансних кривих пов'язана з його добротністю Q (визначає втрати світлової енергії в резонаторі). Для $\lambda = 0,63$ мкм, $L = 1$ і величини втрат потужності за один прохід $\sim 2\%$ (типове значення для дзеркал з багат шаровими покриттями) $Q \sim 5 \cdot 10^8$. Це значення відповідає ширині резонансних кривих ~ 1 Мгц або в довжинах хвиль $\sim 1,3 \cdot 10^{-13}$ см. Цікаво

відзначити, що для подібного резонатора Фабрі-Перо відмінність частот сусідніх резонансів складає згідно з формулою (3) 150 МГц. При цьому в межах смуги посилення укладається велике число резонансів. Генерація виникає на всіх частотах ν_q , що знаходяться усередині частотного інтервалу $\Delta\nu_D$, для яких коефіцієнт посилення активного середовища перевищує втрати світла в резонаторі.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом.
2. Описати принцип дії напівпровідникових лазерних діодів.
3. Відповідно до варіанта виконати розрахунки.
4. Зробити висновки по роботі. У висновках потрібно:
 - a) охарактеризувати лазерний діод з одинарною гетероструктурою;
 - б) обґрунтувати отримані результати проведених розрахунків (залежність хвиль випромінювання лазера від діаметра резонатора Фабрі-Перо);
 - в) за знайденими значеннями діаметра інтерферометра охарактеризувати вплив параметрів на роботу напівпровідникового лазерного діода (відстань між пластинами, коефіцієнт віддзеркалення дзеркал, довжина хвилі випромінювання на його спектральні характеристики (область вільної дисперсії, кутова і лінійна дисперсії)).
5. Відповісти на контрольні запитання

Основні розділи звіту

1. Титульний лист.
2. Тема, мета та завдання лабораторної роботи.
3. Номер та умови варіанта.
4. Розрахунки.
5. Висновки.
6. Відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання та завдання

1. Поясніть процес лазерного випромінювання (на прикладі напівпровідникового лазера).
2. Охарактеризуйте лазерний діод з одинарною гетероструктурою (на прикладі діода з резонатором Фабрі-Перо).
3. Розрахуйте діаметр FP-резонатора, щоб довжина хвиль випромінювання лазера складала 860; 1300; 1550 нм.
4. У чому полягають особливості імпульсного лазерного діода?
5. Які характеристики лазерного випромінювання обумовлені подовжніми і поперечними модами?
6. Довжина хвилі випромінювання лазера $\lambda=0,63$ мкм, довжина резонатора 1 м. Оцініть відстань між подовжніми модами в довжинах хвиль.

Література

1. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 671 с.
2. *Корнійчук В.І., Мосорін П.Д.* Волоконно-оптичні компоненти, системи передачі та мережі. – Одеса: Друк, 2001. – 364 с.
3. *Прикладная оптика / Под общ. ред. Н.П. Закашова.* – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.

Лабораторна робота 3

Дослідження волоконно-оптичних атенуаторів

Мета: Дослідження параметрів, властивостей та принципу дії волоконно-оптичних атенуаторів.

Основні теоретичні положення

Питання узгодження оптичних компонентів є дуже важливим, оскільки залежно від ефективності введення оптичного випромінювання у волокно, якісного з'єднання волокон і введення максимальної потужності світлової хвилі в фотоприймач значною мірою визначається енергетичний баланс волоконно-оптичних систем. У зв'язку з цим розглянемо дані питання більш детально для різних випадків з'єднання оптичних компонентів .

Узгодження за рівнем оптичних сигналів, в першу чергу, забезпечується при з'єднанні типу волокно-волокно, яке виконується або термічним методом або з допомогою механічних з'єднувачів, як, наприклад, конекторів. Однак, не дивлячись на це, тут ми даємо узагальнену картину втрат, що виникають в результаті різного роду зміщень при стикуванні волокон, оскільки на основі даних закономірностей нерідко досягається потрібне ослаблення сигналу. В деяких випадках таке узгодження може бути забезпечене, наприклад, використанням так званої функції внесення втрат при термічному з'єднанні волокон апаратами зварювання, однак, як правило, для цих цілей використовуються спеціальні пристрої, які називаються атенуаторами. Останні можуть бути виконані з постійним чи регульованим значенням послаблення (атенуації).

Вони належать як до пасивних компонент волоконної оптики, так і до вимірювальних засобів і засобів узгодження рівнів в системах передачі.

У зв'язку з цим розглянемо оптичні атенуатори (рис. 3), призначені для застосування у волоконно-оптичних лініях зв'язку.

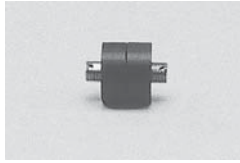


Рис. 3. Волоконо-оптичний атенуатор

Характерною особливістю даних атенуаторів є те, що внесені ними затушення здійснюються або повітряним зазором, або спеціально поглинальним фільтром, що дозволяє значно знизити зворотнє френелівське відбиття. Подальше зменшення відбивань досягається використанням скошеного під кутом наконечника разом з FC/APC або SC/APC з'єднувачами.

Атенуатори, які використовуються в системах передачі, в основному відрізняються типом виконання і виконуються у вигляді: атенуатора-шнура, окінцвленого стандартними ST, SC і FC з'єднувачі, атенуатора-розетки, різного виду фланця і атенуатора-FM розетки, встановленого між стандартною перехідною розеткою і оптичним з'єднувачем.

Таблиця 2

Основні характеристики	Значення
Діапазон регулювання	0-50 дБ
Роздільна здатність	0,1 дБ
Вносимі втрати	0,6 дБ
Рівень зворотніх відбивань	-50 дБ
Максимальний рівень PDL	0,03 дБ
Діапазон робочих температур	-150...+150 °С

Другий тип регульованого атенуатора, призначений для волоконно-оптичних систем передачі і виготовлений компанією DiCon fiberoptic (табл. 2). Характерною особливістю даного атенуатора є низький рівень внесених втрат, у тому числі залежних від поляризації світлової хвилі, а також досить високою роздільною здатністю, яка дозволяє встановлювати значення послаблення з досить високою точністю.

До регульованих оптичних атенуаторів, призначених для вимірювальних цілей, висуваються більш суворіші вимоги і за рівнем зворотніх відбивань, і за точністю установки послаблення. Це пов'язано з тим, що дані пристрої повинні забезпечувати заданий рівень послаблення, здійснюючи мінімальний вплив на вимірювальне коло. Як правило, такі пристрої базуються на відносному переміщенні оптичних компонентів на шляху проходження світлового випромінювання, наприклад, оптичних призм, з тим, щоб забезпечити потрібний рівень внесених ними втрат. На рис. 4 подано функціональну схему такого атенуатора, де для досягнення високої точності і простоти управління використовується мікропроцесор. Основними характеристиками оптичних атенуаторів є відбиття, внесені втрати, лінійність, а також повторення

встановлених значень послаблення у заданому динамічному діапазоні регулювання затухання, при цьому:

- затухання відбитого сигналу, або коефіцієнт відбиття, визначається за допомогою джерела випромінювання і вимірювача відбитого сигналу в строгій відповідності з рекомендаціями EIA-TIA(FOTP 107);

- внесені втрати визначаються за значенням потужності джерела випромінювання, виміряного за допомогою вимірювача потужності, підключеного спочатку безпосередньо до джерела випромінювання, а потім до атенюатора, встановленого в режим мінімального послаблення. В результаті світлове випромінювання джерела передається через калібруючий атенюатор і отримане значення потужності знову вимірюється;

- лінійність характеристики перетворення атенюатора визначається в заданому діапазоні послаблення, використовуючи високостабільні DFB джерела випромінювання і вимірювач потужності з високою лінійністю характеристики перетворення. Розходження між встановленим значенням послаблення і показниками вимірювача потужності відповідає абсолютній похибці атенюатора по всьому діапазоні зміни послаблення;

- повторюваність значення послаблення визначається шляхом зміни останніх від попереднього значення до нового значення і назад, на всьому діапазоні зміни послаблення.

Відмінними рисами таких атенюаторів є відсутність джерела живлення, що дозволила виключити проблеми флуктуації сигналу, які відповідають моделям з кроковими двигунами або фільтрами. Основним застосуванням вимірювальних атенюаторів є зміна рівня сигналу при визначенні меж втрат, калібрування вимірювачів потужності і використання в сукупності з іншими приладами для тестування і моделювання системних втрат.

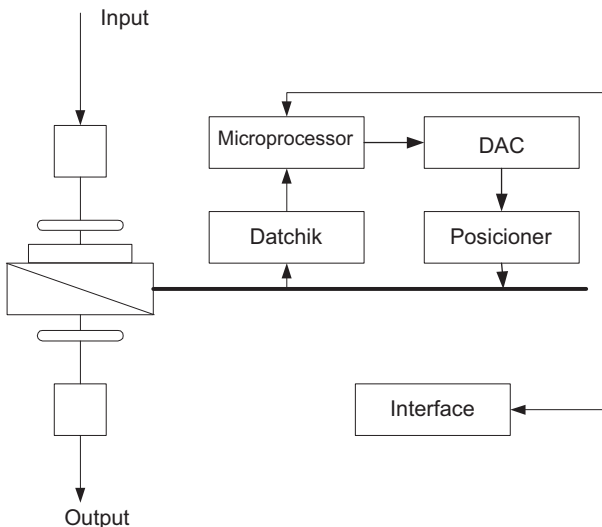


Рис. 4. Волоконно-оптичний атенюатор з перестройкою загасання

Загасання при осьовому зміщенні волокон визначаються відношенням:

$$\alpha_s = -10 \lg \left[\frac{1}{1 + 2 \left(\frac{S}{D} \right) \operatorname{tg}(\theta_a)} \right]^2 \quad [\text{дБ}],$$

де S – осьове зміщення, D – діаметр світлонесучої частини волокна, θ_a – апертурний кут.

Загальне значення загасання ВОЛЗ складається із загасання у волокні та загасання, яке отримуємо в атенюаторі:

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_s.$$

Завдання

Розрахувати енергетичний баланс волоконно-оптичної лінії зв'язку. Для цього потрібно розрахувати значення зазору у волоконно-оптичному атенюаторі для досягнення заданого загасання у ВОЛЗ. Кутовим та радіальним неузгодженнями знехтувати.

Таблиця 3

№ варіанта	Тип волокна	Апертурний кут, θ_a , рад	Значення загасання ВОЛЗ, дБ	Довжина волокна, км	Загасання у волокні, дБ/км
1	50/125	0,32	32	1	2,0
2	62,5/125	0,56	40	2	1,5
3	100/140	0,64	78	3	4,0
4	8/125	0,4	44	4	1,0
5	50/125	0,34	35	5	2,0
6	62,5/125	0,47	27	6	1,5
7	100/140	0,5	79	7	4,0
8	8/125	0,42	80	8	1,0
9	50/125	0,38	64	9	2,0
10	62,5/125	0,52	34	10	1,5

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичним матеріалом.
2. Вивчити функціональні можливості волоконно-оптичних атенюаторів.
3. Виконати розрахункове завдання відповідно до варіанта.
4. Зробити висновки по роботі. У висновках потрібно:
 - а) обґрунтувати отримані результати проведених розрахунків, відповідно до принципів роботи волоконно-оптичних атенюаторів;
 - б) порівняти розраховані значення зазору в оптичному атенюаторі з фіксованими значеннями стандартних зразків;
 - в) охарактеризувати параметри функціонування волоконно-оптичних атенюаторів залежно від режимів роботи;

е) за знайденими значеннями загасання в лінії визначити тип оптичного атенюатора (табл. 2.5 [3]), який можна застосувати для побудови волоконно-оптичної системи передачі.

5. Відповіді на контрольні запитання.

Основні розділи звіту

1. Титульний лист.
2. Тема, мета та завдання лабораторної роботи.
3. Номер та умови варіанта.
4. Розрахунки.
5. Висновки по роботі.
6. Відповіді на контрольні запитання.

Запитання для самопідготовки

1. Призначення волоконно-оптичних атенюаторів.
2. Діапазон регулювання затухання у волоконно-оптичних атенюаторах.
3. Яким чином відбувається зміна загасання у атенюаторах?
4. Від яких факторів залежить лінійність характеристик перетворення загасання в атенюаторі?

Література

1. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 671 с.
2. *Корнійчук В.І., Мосорін П.Д.* Волоконно-оптичні компоненти, системи передачі та мережі. – Одеса: Друк, 2001. – 364 с.

Частина II

Завдання на практичне заняття

Тема: Розрахунок загасання з'єднувачів оптичних волокон

Роз'ємний з'єднувач (роз'єм, конектор) – пристрій, призначений для підключення оптичного волокна до джерела, детектора або до іншого волокна і т.д. У його конструкції закладено можливість багатократного підключення і відключення оптичного волокна.

Вимоги до волоконно-оптичних роз'ємних з'єднувачів:

1. Низькі втрати.
2. Простота встановлення.
3. Надійність.
4. Регламентованість характеристик (характеристики гарантуються виробником).
5. Економічність.

Для оцінки загасання волоконно-оптичної лінії потрібно враховувати сумарний вплив:

а) загасання волокна;

б) зовнішні втрати з'єднання:

– кутова неузгодженість осей (рис. 5,а);

– радіальне неузгодження (рис. 5,б);

– осьове зміщення (рис. 5,в);

– френелівське відбиття у зазорі (рис. 5,г);

в) внутрішні втрати з'єднання:

– неоднакова числова апертура волокон;

– різниця в діаметрах сердцевин;

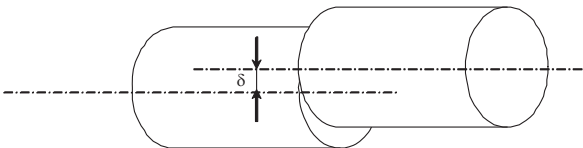
– неспівпадаючі діаметри оболонок.

Існуючі оптичні з'єднувачі є одинарні, дуплексні та багатоволоконні. Для виконання з'єднань найчастіше використовують стандартні з'єднувачі типу FC, ST, SC та ін.

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

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

де α_n – загасання.



а)

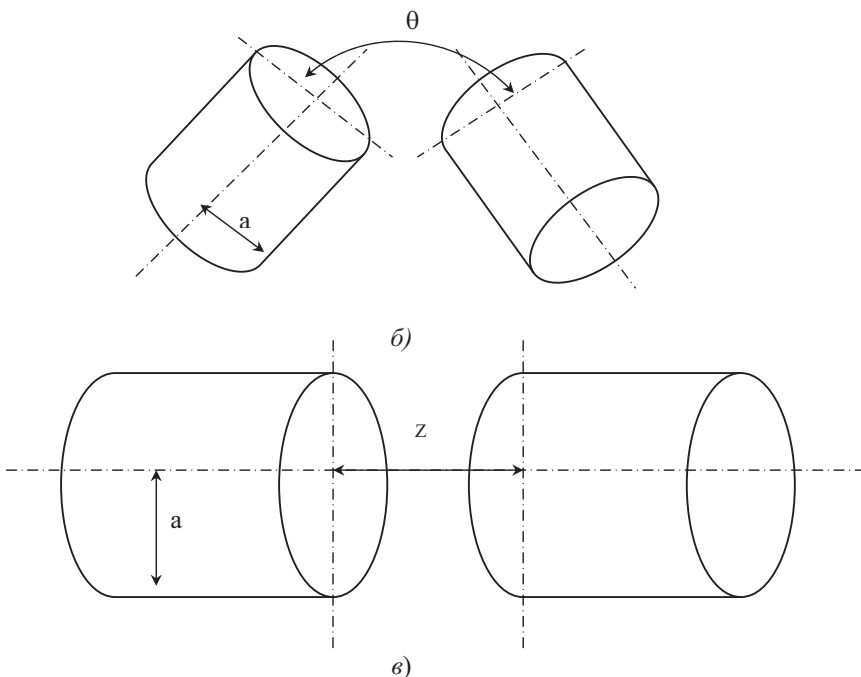


Рис. 5. а) Радіальний зсув оптичних волокон; б) Кутове розузгодження оптичних волокон; в) Осьове розузгодження оптичних волокон

При ідеальному узгодженні волокон $K_n = 1$.

Враховуючи наявність дефектів при узгодженні, викликаних радіальним, кутовим та осьовим зміщеннями волокон, коефіцієнт передавання визначається виразами:

$$K_{\delta} = 1 - \frac{L}{D}, \quad (2)$$

$$K_{\theta} = 1 - \frac{\theta}{\theta_a}, \quad (3)$$

$$K_S = 1 - \frac{c \operatorname{tg}(\theta_a)}{2S}, \quad (4)$$

де K_{δ} , K_{θ} , K_S – коефіцієнти передавання при радіальному, кутовому та осьовому зміщеннях волокон;

L – радіальне зміщення;

D – діаметр волокна;

θ , θ_a – кут зміщення та апертурний кут.

Причому $K_n = K_{\delta} K_{\theta} K_S$.

Завдання

За даними варіанта знайти загальне загасання волокна.

	Тип волокна	Апертурний кут, θ_a , рад	Кут зміщення, θ , рад	Радіальне зміщення, L , мкм	Довжина волокна, км	Загасання у волокні, дБ/км
1	50/125	0,48	0,015	0,01	1	2,0
2	62,5/125	0,50	0,045	0,05	2	1,5
3	100/140	0,53	0,043	0,04	3	4,0
4	8/125	0,54	0,004	0,03	4	1,0
5	50/125	0,47	0,038	0,02	5	2,0
6	62,5/125	0,51	0,0221	0,01	6	1,5
7	100/140	0,49	0,065	0,06	7	4,0
8	8/125	0,61	0,032	0,05	8	1,0
9	50/125	0,56	0,09	0,04	9	2,0
10	62,5/125	0,55	0,03	0,03	10	1,5

Контрольні запитання

1. Що таке роз'ємний з'єднувач?
2. Основні вимоги до волоконно-оптичних роз'ємних з'єднувачів.
3. Основні чинники, які впливають на загасання у волокні.
4. Визначити на лабораторних зразках конектори типу: FC, SC та ST.
5. Як визначається коефіцієнт передавання?
6. Як визначається коефіцієнт загасання?

Список літератури

1. Оптика и связь / А. Козанне, Ж. Флере, Г. Мэтр, М. Руссо / Под ред. В.К. Соколова. – М.: Мир, 1984. – 504 с.
2. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи и измерения. – М.: Сайрус-системз, 1999. – 671 с.
3. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 267 с.

Частина III

ЗАВДАННЯ НА САМОСТІЙНУ РОБОТУ

З кожної теми дисципліни студенти заочної форми навчання готують звіт з виконання завдань самостійної роботи. У звіті наводять стислі відповіді на контрольні запитання відповідної теми та аналітичні розрахунки розв'язання задач. Кожен студент вибирає варіант відповідно шифру студента.

Тема 1. Формати оптичної передачі інформації

1. Порівняти переваги і недоліки металевих і оптичних кабелів зв'язку.
2. У яких випадках організується повнодуплексний (у двох напрямках по одному волокну), напівдуплексний (по парі волокон) та симплексний зв'язок?
3. Коли при проектуванні системи варто вибирати аналоговий, а коли цифровий формат передачі?
4. Які способи мультиплексування каналів Ви знаєте і в яких випадках вони використовуються?
5. У яких випадках під час проектування систем передачі робоча довжина хвилі вибирається у видимій (0,4...0,7 мкм), у ближній ІЧ (навколо 0,85 мкм) або в довгохвильовій (1,1 ...1,6 мкм) областях спектра?

Література: основна[1-3,5]; додаткова [6,8]

Тема 2. Приймачі та передавачі волоконно-оптичних систем передачі

1. Для яких систем передачі слід використовувати світлодіоди, а для яких лазерні діоди і чому?
2. У яких ситуаціях використовують багатомодові (східчасті, градієнтні) і в яких одномодові волокна?
3. За якими критеріями вибираються оптичні з'єднувачі для системи передачі, що проектується, і в якій кількості?
4. У яких системах передачі застосовують р-і-n фотодіоди, а в яких – лавинні фотодіоди?
5. На основі яких критеріїв вибираються передавальні і приймальні пристрої для системи передачі, що проектується?

Література: основна[2,4]; додаткова [7,9]

Тема 3. Бюджет потужності (енергетичний потенціал) волоконно-оптичних системи передачі

1. Що розуміють під терміном бюджет потужності (енергетичний потенціал) системи передачі і на які види втрат він витрачається?
2. Що розуміють під терміном бюджет ширини смуги пропускання і між якими компонентами (пристроями) оптичного лінійного тракту він розподіляється?

3. Запропонувати заходи для збільшення бюджету потужності системи передачі.
 4. Запропонувати заходи для збільшення бюджету ширини смуги пропускання системи передачі.
 5. Що розуміють під експлуатаційним запасом системи передачі за потужністю і на що він може бути використаний?
 6. Що розуміють під експлуатаційним запасом системи передачі за шириною смуги пропускання і на що він може бути використаний?
 7. Запропонувати методи збільшення довжини підсилювальної (регенераційної) ділянки системи передачі.
- Література:** основна[1-4,7]; додаткова [6,9-11]

Тема 4. Волоконно-оптичні підсилювачі

1. На основі якого фізичного явища відбувається підсилення сигналу в оптичному підсилювачі?
 2. Пояснити принцип дії напівпровідникових лазерних підсилювачів типу Фабрі-Перо і біжучої хвилі.
 3. Накреслити структурну схему волоконно-оптичного підсилювача і пояснити призначення його основних елементів.
 4. На яких довжинах хвиль можна здійснити накачку оптичного підсилювача на волокні, легованому ербієм або празеодимом? Чому не можна використовувати накачку з довільною довжиною хвилі?
 5. У чому перевага і недоліки оптичних підсилювачів на основі кремнієвих і фтор-цирконатних активних волокон?
- Література:** основна[2,4,5]; додаткова [7,11]

Тема 5. Приймання оптичних сигналів у шумах

1. Пояснити особливості і вимоги до волоконно-оптичних підсилювачів, які використовують на передачі, в лінії і на прийомі.
 2. Перелічити і пояснити зміст сигнальних параметрів волоконно-оптичних підсилювачів.
 3. Перелічити й охарактеризувати шумові параметри волоконно-оптичних підсилювачів.
 4. Як пояснити явище насичення волоконно-оптичних підсилювачів і як збільшити значення цього параметра?
 5. Пояснити походження і вплив на параметри волоконно-оптичних підсилювачів посиленого спонтанного випромінювання.
 6. Як і чому змінюється рівень підсиленого спонтанного випромінювання при подачі на вхід підсилювача сигналу?
- Література:** основна[1-3,6]; додаткова [8,10]

Тема 6. Якісні характеристики волоконно-оптичних систем передачі

1. Запропонувати заходи збільшення ВСШ на виході волоконно-оптичних підсилювачів.
2. Як і чому змінюється значення ВСШ на виході лінійного тракту, що містить каскадно-увімкнені волоконно-оптичні підсилювачі?
3. Навести основні варіанти використання волоконно-оптичних підсилювачів у лініях далекого зв'язку і зазначити типові значення довжини безрегенераційної ділянки.
4. Пояснити можливі варіанти організації каналу контролю обладнання лінійного тракту, що містить волоконно-оптичні підсилювачі.
5. Навести приклад системи розподілу аналогових широкосмугових сигналів (наприклад, КТБ) із використанням волоконно-оптичних підсилювачів та спектрального мультиплексування.
6. Накреслити багатохвильову систему розподілу широкосмугових сигналів із використанням волоконно-оптичних підсилювачів.
7. Накреслити розгалужену багатохвильову систему передачі даних з використанням волоконно-оптичних підсилювачів.
8. Навести основні параметри волоконно-оптичних підсилювачів, що досягнуті експериментально.

Література: основна [1-3,5]; додаткова [8-10]

Розрахункові завдання для самостійного опрацювання

Задача 1

Спроектуйте систему передачі відеосигналу з шириною смуги 6,0 МГц на відстань 10 км. ВСШ на виході приймального пристрою повинно бути 48 дБ або більше. Використайте аналогову модуляцію випромінювання.

Задача 2

Спроектуйте систему передачі відеосигналу з шириною смуги 5,0 МГц на відстань 10 км. ВСШ на виході приймального пристрою повинно бути 60 дБ або більше, використовуючи цифрову модуляцію з ймовірністю помилки, яка не повинна перевищувати 10^{-9} .

Задача 3

Виконайте проект системи передачі сигналу зі швидкістю 2 Гбіт/с у NRZ-форматі на відстань 100 км без використання регенераторів. Ймовірність помилки не повинна перевищувати 10^{-9} .

Задача 4

Прийняти, що система в попередній задачі була створена, але тепер вимоги по ймовірності помилки знизилися до 10^{-8} . На скільки далі (ніж 100 км) може бути передане повідомлення за тільки що розрахованих рівнях потужності? Зробіть необхідні зміни в системі, щоб забезпечити передачу на цю збільшену відстань.

Задача 5

Виконайте проект аналогової системи передачі сигналу тональної частоти з шириною смуги 4 кГц на відстань понад 100 км при ВСШ = 30 дБ.

Задача 6

Виконайте проект системи передачі сигналу зі швидкістю 1 Гбіт/с у NRZ-форматі на відстань 100 км, використовуючи цифрову модуляцію. Ймовірність помилки не повинна перевищувати 10^{-5} .

Задача 7

Виконайте проект системи передачі сигналу зі швидкістю 2 Гбіт/с у манчестерському коді на відстань 100 км без регенераторів. Ймовірність помилки не повинна перевищувати 10^{-9} .

Задача 8

Виконайте проект системи передачі сигналу зі швидкістю 10 Мбіт/с у мережі, що має п'ять терміналів. Термінали розташовані уздовж прямої траси на відстані 200 м один від одного. Ймовірність помилки не повинна перевищувати 10^{-3} .

Задача 9

Виконайте проект, що забезпечує передачу сигналу зі швидкістю 250 Мбіт/с по мережі, що містить 25 терміналів. Термінали розміщені рівномірно по периметру кола діаметром 1 км. Ймовірність помилки не повинна перевищувати 10^{-6} .

Задача 10

Розробіть проект системи для одночасної передачі трьох сигналів (тонального, відео- і сигналу даних) на відстань 10 км. Ширина смуги частот тонального і відеосигналу дорівнює відповідно 4 кГц і 6 МГц, а швидкість передавання даних 10 Мбіт/с (NRZ-формат). ВСШ для каналу ТЧ дорівнює 25 дБ, для відеоканалу – 40 дБ. Ймовірність помилки передачі даних не повинна перевищувати 10^{-6} .

Задача 11

Виконайте проект системи передачі інформації зі швидкістю 2 Гбіт/с у RZ-форматі на відстань 5000 км. Ймовірність помилки не повинна перевищувати 10^{-9} .

Задача 12

Виконайте проект системи одночасної передачі трьох каналів по одному волокну. Оптичні носії сигналів розташовані у вікні 1550 нм на відстані 2 ГГц одна від одної. Швидкість передавання даних дорівнює 100 Мбіт/с у NRZ-форматі, дальність передачі складає 100 км, ймовірність помилки краща за 10^{-7} .

Задача 13

Виконайте проект цифрової системи передачі зі швидкістю 20 Гбіт/с на відстань понад 10000 км без регенераторів. Ймовірність помилки повинна не перевищувати 10^{-9} . (Необхідно використати солітони й оптичні підсилювачі).

Задача 14

Система передачі працює в третьому вікні прозорості волокна і має енергетичний потенціал 32 дБ. Обчисліть збільшення дальності передачі після застосування в обладнанні передавання волоконно-оптичного підсилювача з коефіцієнтом підсилення за потужністю 80. Коефіцієнт загасання волокна дорівнює 0,25 дБ/км, будівельна довжина кабелю складає 2 км, у тракті є один оптичний з'єднувач на приймальній стороні з втратами 0,5 дБ.

Задача 15

Обчисліть дальність передачі системи, що працює в третьому вікні прозорості, якщо передавальний пристрій забезпечує рівень введеної у одномодове волокно потужності 3 дБм, приймальний пристрій має чутливість 2 мкВт при $p_m = 10^9$, а в лінійний тракт встановлений волоконно-оптичний підсилювач з коефіцієнтом підсилення за потужністю 22.

Задача 16

Обчисліть дальність передачі системи, що працює в третьому вікні прозорості, якщо передавальний пристрій забезпечує введену в одномодове волокно потужність 4 мВт, приймальний пристрій має чутливість -32 дБм при $p_{\text{min}} = 10^9$, а на його вході встановлений волоконно-оптичний підсилювач з коефіцієнтом підсилення за потужністю 70.

Задача 17

Обчисліть значення потужності підсиленого спонтанного випромінювання, приведеної до входу ідеального оптичного підсилювача в спектральному вікні шириною 1,2 нм на хвилі довжиною 1540 нм.

Задача 18

На волоконно-оптичний підсилювач потужності з коефіцієнтом шуму 4,2 дБ подається оптичний сигнал, що має відношення сигнал/шум 10^6 . Обчисліть значення відношення сигнал/шум на виході підсилювача в разях і децибелах.

Задача 19

У лінійний тракт між передавальним і приймальним пристроями включені три лінійні оптичні підсилювачі – кожен з коефіцієнтом підсилення за потужністю 100 разів. Загасання у волокні на ділянці, що передує кожному з підсилювачів, дорівнює 20 дБ. Обчисліть значення ВСШ на виході тракту, якщо ВСШ передавального пристрою дорівнює 10^6 , а коефіцієнт шуму кожного з оптичних підсилювачів дорівнює 4.

Задача 20

Обчисліть коефіцієнт шуму оптичного підсилювача, якщо ВСШ на вході дорівнює 70 дБ, а ВСШ на його виході $5 \cdot 10^6$.

Задача 21

На вході приймального пристрою встановлений оптичний передпідсилювач з коефіцієнтом підсилення за потужністю 50 і коефіцієнтом шуму 4,5 дБ. Електронний підсилювач приймального пристрою має коефіцієнт підсилення за потужністю 8 і коефіцієнт шуму 3 дБ. Цей підсилювач встановлений за фотодіодом зі струмовим відгуком 0,5 А/Вт. Опір навантаження фотодіода дорівнює 100 Ом, температура 300 К, а ширина смуги пропускання приймального пристрою 1 ГГц. Оптична потужність на вході оптичного підсилювача складає 10 нВт. Обчисліть: а) потужність електричного сигналу, що утворюється на резисторі навантаження; б) потужність сигналу на виході електронного підсилювача приймача; в) потужність теплового шуму, що генерується резистором навантаження; г) сумарну потужність шуму на виході приймального пристрою; д) температуру шуму приймальної системи і ВСШ на її виході.

Задача 22

Оптичний підсилювач на волокні легованому ербієм має коефіцієнт шуму 6 і коефіцієнт підсилення за потужністю 100. Відношення сигнал/шум на його вході дорівнює 30 дБ при сигналі потужністю 10 мкВт. Обчисліть потужність сигналу (дБм) і відношення сигнал/шум (дБ) на виході підсилювача.

Задача 23

Оптичний підсилювач на волокні легованому ербієм може працювати в спектральній області приблизно 20 нм (1530...1550 нм). Скільки 10-ти гігагерцевих каналів можна розмістити в цій області (за допомогою спектрального мультиплексування) і одночасно підсилувати?

Задача 24

Припустіть, що вихідна потужність насичення ербієвого оптичного підсилювача складає 20 мВт, коефіцієнт підсилення дорівнює 5 дБ на один міліват потужності накачування. Потужність накачування складає 5 мВт. Знайдіть значення найбільшої вхідної потужності, що може бути підсилена без того, щоб цей підсилювач не потрапив в область насичення?

Задача 25

Розробіть проект системи для одночасної передачі трьох сигналів (тонального, відео- і сигналу даних) на відстань 20 км. Ширина смуги частот тонального і відеосигналу дорівнює відповідно 5 кГц і 8 МГц, а швидкість передавання даних 100 Мбіт/с (NRZ-формат). ВСШ для каналу ТЧ дорівнює 25 дБ, для відеоканалу – 40 дБ. Ймовірність помилки передачі даних не повинна перевищувати 10^{-8} .

Приклад розв'язання задач з проектування оптичних систем передачі

Система складається зі світлодіода, що випромінює потужність 10 мВт на довжині хвилі 0,85 мкм, оптичного кабелю із згасанням 20 дБ і *p-i-n* фотодіода зі струмовим відгуком 0,5 А/Вт. Темновий струм фотодіода дорівнює 2 нА, а опір навантаження 50 Ом, ширина смуги пропускання приймального пристрою 10 МГц і температура навколишнього середовища 300 К (27°C). Втрати в системі, крім загасання у волокні, дорівнюють 14 дБ через зменшення потужності при вводі випромінювання від джерела у волокно і 10 дБ втрат, викликаних усіма рознімними і нерознімними з'єднувачами. Визначте значення приймальної оптичної потужності, фотострум сигналу, потужності дробового і теплового шумів і ВСШ.

Розв'язання

Результуючі втрати в лінійному тракті становлять $10+14+20=44$ дБ. Це еквівалентно ефективності тракту передачі $10^{-4,4}=4 \cdot 10^{-5}$. Оптична потужність, що досягає приймача:

$$P_n = 4 \cdot 10^{-5} (10) = 4 \cdot 10^{-4} \text{ мВт} = 0,4 \text{ мкВт.}$$

Силу фотоструму обчислимо із рівняння $i_c = \rho_i P_n$, оскільки струмовий відгук фотодіода відомий. Отже $i_c = \rho_i P_n = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 = 200$ мкА.

Темновий струм (усього 2 нА) малий порівняно зі струмом сигналу, так що може не враховуватися в розрахунках. Електрична потужність сигналу:

$$\overline{P_{ec}} = i_c^2 R_n = (0,2 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 50 = 2 \cdot 10^{-12} \text{ Вт.}$$

Потужність дробового шуму:

$$\overline{P_{шд}} = 2q i_c \Delta f R_n = 2(1,6 \cdot 10^{-19})(0,2 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^7 \cdot 50 = 3,2 \cdot 10^{-17} \text{ Вт.}$$

Потужність теплового шуму:

$$\overline{P_{шт}} = 4KT\Delta f = 4(1,38 \cdot 10^{-23}) \cdot 300 \cdot 10^7 = 1,66 \cdot 10^{-13} \text{ Вт.}$$

У цій системі потужність теплового шуму майже на чотири порядки більше, ніж дробового. Параметри системи обмежує тепловий шум. Обчислимо відношення сигнал/шум для теплового шуму:

$$\frac{C}{Ш} = \frac{\overline{P_{ec}}}{\overline{P_{шт}}} = \frac{2 \cdot 10^{-12}}{1,66 \cdot 10^{-13}} = 12.$$

Виражене в децибелах значення ВСШ дорівнює $10 \lg 12 = 10,8$ дБ. Для порівняння обчислимо значення ВСШ, обмежене квантовим шумом.

$$\frac{C}{Ш} = \frac{\overline{P_{ec}}}{\overline{P_{шд}}} = \frac{2 \cdot 10^{-12}}{3,2 \cdot 10^{-17}} = 62500, \text{ або } 48 \text{ дБ.}$$

Як бачимо з розрахунків система може працювати при заданих умовах, але якщо потрібно буде збільшити дальність роботи ВОСП, то потрібно буде обмежувати вплив на систему теплового шуму.

Список літератури

1. *Прикладная оптика* / Под общ. ред. Н.П. Закашова. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.
2. *Франсон М.* Оптика спеклов. – М.: Мир, 1980. – 171 с.
3. *Убайдуллаев Р. Р.* Волоконо-оптические сети. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998. – 267 с.
4. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 671 с.
5. *Семенов А.Б.* Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 302 с.
6. *Оптика и связь* / А. Козанне, Ж. Флере, Г. Мэтр, М. Руссо // Под ред. В.К.Соколова. – М.: Мир, 1984. – 504 с.
7. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передачи и измерения. – М.: Сайрус-системз, 1999. – 671 с.
8. *Семенов А.Б.* Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 302 с.
9. *Убайдуллаев Р.Р.* Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2000.
10. *Андрэ Жирар.* Руководство по технологии и тестированию систем WDM. – М.: EXFO, 2001. / Пер. с англ.; под ред. А.М. Бродниковского, Р.Р. Убайдуллаева, А.В. Шмалько. / Общая редакция А.В. Шмалько.
11. *Корнійчук В.І., Мосорін П.Д.* Волоконно-оптичні компоненти, системи передачі та мережі. – Одеса: Друк, 2001. – 364 с.

**Герцій Олександр Анатолійович
Кокряцька Наталія Іванівна**

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ

Методичні рекомендації
щодо виконання лабораторних і практичних робіт
та організації самостійної роботи
для студентів безвідривної форми навчання спеціальності
6.050202 «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Директор РВ ДЕТУТ Л. В. Пономаренко
Редактор Н. В. Щербак
Макет і верстка В. О. Андрієнка

Підписано до друку 24.03.2011. Формат 60 x 84/16.

Папір офсетний. Друк – ризографія.

Зам. № 26-2/11. Наклад 70 прим.

Надруковано в Редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007 р.
03049, м. Київ-049, вул. Миколи Лукашевича, 19.