

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра радіотехніки та телекомунікацій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Оптичні технології в телекомунікаційних системах»
для студентів спеціальності
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Частина II

2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Оптичні технології в телекомунікаційних системах» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» всіх форм навчання. Частина II / Укл.: Г.В. Мороз, Є.І. Колеснікова, Г.М. Сидоренко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 31 с.

Укладачі: Г.В. Мороз, ст. викладач,
Є.І. Колеснікова, зав. лаб.,
Г.М. Сидоренко, зав. лаб.

Рецензент: С.В. Морщавка, доцент, к.т.н.

Відповідальний.
за випуск: Г.М. Сидоренко, зав. лаб.

Затверджено:
на засіданні кафедри
радіотехніки та телекомунікацій
Протокол № 6 від 16.04.2024 р.

Рекомендовано до видання НМК
факультету інформаційної безпеки та
електронних комунікацій
Протокол № 7 від 14.05.2024 р.

3
ЗМІСТ

	С.
1 Лабораторна робота №3 Приймальні квантово-електронні оптичні модулі	5
1.1 Мета роботи	5
1.2 Загальні відомості	5
1.3 Функціональний склад ПРОМ	5
1.4 Принципи роботи фотоприймача	7
1.5 Електронні елементи ПРОМ	7
1.5.1 Електронні передпідсилювач і підсилювач	7
1.5.2 Вузол вирівнювання	7
1.5.3 Вузол фільтрації	8
1.5.4 Вузол дискримінації	8
1.5.5 Таймер	8
1.6 Характеристики ПРОМ	9
1.6.1 Частота появи помилок	9
1.6.2 Чутливість цифрового ПРОМ	9
1.6.3 Насичення ПРОМ	9
1.7 Завдання до лабораторної роботи	10
1.8 Контрольні запитання	11
1.9 Прилади та обладнання	11
1.10 Вказівки з техніки безпеки	12
1.11 Порядок проведення лабораторної роботи	12
1.12 Зміст звіту	12
2 Лабораторна робота № 4 Передавальні квантово-електронні оптичні модулі	13
2.1 Мета роботи	13
2.2 Загальні відомості	13
2.2.1 Передавальні оптоелектронні модулі	13
2.2.2 Типи і характеристики джерел випромінювання	13
2.3 Світловипромінюючі діоди	14
2.4 Лазерні діоди	16
2.5 Інші характеристики	18
2.5.1 Швидкодія джерела випромінювання	18
2.5.2 Деградація і час наробітку на відмовлення	18
2.6 Основні елементи ПОМ	19
2.7 Завдання до лабораторної роботи	19

2.8 Контрольні запитання	21
2.9 Прилади та обладнання.....	21
2.10 Вказівки з техніки безпеки	22
2.11 Хід виконання лабораторної роботи	22
2.12 Зміст звіту	23
2.13 Рекомендована література	23
Додаток А.....	24

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ПРИЙМАЛЬНІ КВАНТОВО-ЕЛЕКТРОННІ ОПТИЧНІ МОДУЛІ

1.1 Мета роботи

Вивчення пристрою, принципу дії, конструкції, технічних характеристик та схемотехнічних рішень побудови приймальних оптоелектронних модулів (ПРОМ).

1.2 Загальні відомості

ПРОМ є важливими елементами волоконно-оптичних систем. Їхня функція – перетворення оптичного сигналу, прийнятого з волокна, в електричний, котрий обробляється далі електронними пристроями.

1.3 Функціональний склад ПРОМ

Основними елементами ПРОМ є:

- фотоприймач, що перетворює отриманий оптичний сигнал в електричний;
- каскад електронних підсилювачів, що підсилюють сигнал і перетворюють його у форму, придатну для обробки;
- демодулятор (блок регенерації), що відтворює первісну форму сигналу.

На рисунку 1.1 приведені елементи ПРОМ.

При цифровому прийомі сигналів досить, щоб приймач міг лише розрізнати сигнали “0” і “1”, а точне відтворення форм їхніх імпульсів не обов'язково. Тому цифровий приймач, як блок регенерації, повинен містити вузол прийняття рішення чи дискримінатор, що має встановлені пороги для розрізнення сигналів “0” і “1” і, що отже може розпізнавати, який сигнал прийшов “0” чи “1”, вбирає шуми і відновлює необхідну амплітуду сигналу.

Звичайно, у цифрових системах зв'язку, задовільне виділення потрібного сигналу може відбуватися при великому рівні шумів.

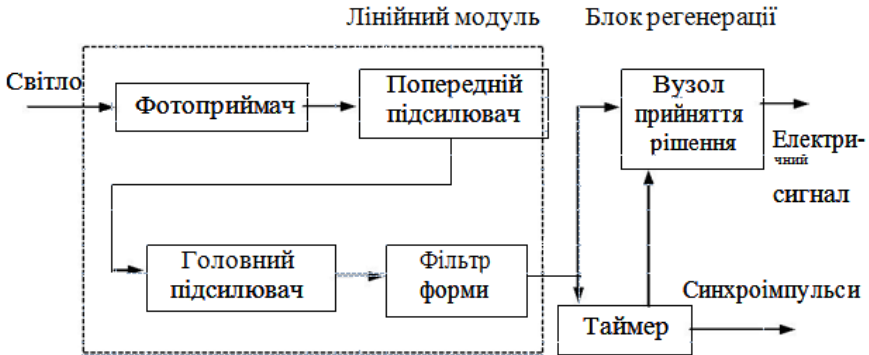


Рисунок 1.1 – Функціональна схема приймального оптоелектронного модуля

Розрізняють синхронний й асинхронний режими прийому-передачі цифрового сигналу. При синхронному режимі бітовий потік між приймачем і передавачем носить беззупинний характер. При асинхронному режимі дані передаються у виді організованих бітових послідовностей – пакетів. У проміжках між пакетами лінія мовчить – сигналів немає.

При синхронному режимі прийому – передачі таймер приймача виділяє в приходжій бітовій послідовності спеціальні сигнали – синхроімпульси, на підставі яких приймач регулярно настраює чи підстроює свій годинник для задовільної ідентифікації усіх бітів.

При асинхронному режимі прийому – передачі приймач має свій незалежний таймер. Приймаючи початкові біти пакета (преамбулу), таймер приймача набудовує вузол прийняття рішення так, щоб визначення приходжого біта виконувалося на його середині. Електричний сигнал, що видає вузол прийняття рішення, йде на частоті таймера.

Тому що всі таймери мають погрішність і вона різна в різних таймерів, то через неї в міру прийняття наступних бітів пакета, момент визначення приходжого біта може повільно зміщуватися в одну зі сторін, щодо середини приходжого біта. Для вірної ідентифікації всіх бітів пакета важливо, щоб зсув за час прийняття пакета не перевищував 0,5 тривалості біта. Це явище обмежує максимальну

тривалість пакета . Причому чим менше погрішність таймерів, тим більш довжина пакета може використовуватися для передачі.

1.4 Принципи роботи фотоприймача

Основним елементом ПРОМ є фотоприймач, виготовлений звичайно з напівпровідникового матеріалу. В основі роботи фотоприймача лежить явище внутрішнього фотоефекта, при якому в результаті поглинання фотонів з енергією, що перевищує енергію забороненої зони, відбувається перехід електронів з валентної зони в зону провідності (генерація електронно-діркових пар). Якщо до напівпровідника прикласти напругу, то з'явиться електричний струм, обумовлений рухом електронів у зоні провідності і дірок у валентній зоні.

Ефективна реєстрація генеруємих у напівпровіднику електронно-діркових пар забезпечується шляхом поділу носіїв заряду. Для цього використовується напівпровідникова конструкція з р-п переходом, що називається фотодіодом. З фотоприймачів, використовуваних у ВОЛЗ, найбільше поширення одержали: *p-i-n фотодіоди і лавинні фотодіоди*.

1.5 Електронні елементи ПРОМ

1.5.1 Електронні передпідсилювач і підсилювач

Типове значення оптичного сигналу на вході фотоприймача складає порядку 1-10 мкВт і менш. Якщо в ПРОМ як фотоприймач використовується р-і-п фотодіод з струмовою чутливістю 0,6-0,8 А/Вт, то на його виході струм складе декілька мікроампер і для правильної роботи наступних вузлів його необхідно підсилити: звичайно для цього використовується передпідсилювач з низькими шумами і підсилювач потужності.

1.5.2 Вузол вирівнювання

Вузол вирівнювання використовується для відновлення правильного співвідношення амплітуд у низької і високої областях спектра, тому що ці частоти підсилюються неоднаково. Вузол вирівнювання являє собою додатковий ланцюг вирівнювання сигналу.

1.5.3 Вузол фільтрації

Вузол фільтрації дозволяє збільшити співвідношення сигнал/шум за допомогою вибіркового у визначеному діапазоні частот придушення шумів.

1.5.4 Вузол дискримінації

Вузол дискримінації служить для розрізнення і виділення сигналів “0” і “1” із загальної послідовності прийнятих цифрових сигналів. Необхідність його застосування в ПРОМ обумовлена тим, що через наявність дисперсії при поширенні оптичних сигналів по волокну, фронти імпульсів можуть втратити первісну прямокутну форму й стати розмитими. Для відновлення їхньої прямокутної форми призначений дискримінатор, що має поріг спрацьовування.

Якщо амплітуда сигналу, що надходить на дискримінатор, менше порога, то на виході дискримінатора сигналу не буде (0), якщо ж вона перевершує поріг, то на виході йде сигнал визначеної амплітуди (1). Головним недоліком такої регенерації цифрового сигналу є можливість порушення тривалості імпульсів. Чим менше амплітуда сигналу, що надходить на дискримінатор, тим коротше можуть бути імпульси, що відповідають одиничному сигналу на виході дискримінатора. Низьке значення порога також не бажано, тому що можна помилково прийняти шум за корисний сигнал.

Для того, щоб зберегти тимчасову послідовність імпульсів на виході дискримінатора, необхідно щоб дискримінатор одержував інформацію про частоту, із якою вони повинні проходити.

1.5.5 Таймер

Основна функція таймера – це придушення ресинхронізації сигналу. Така функція в ПРОМ необхідна, тому що в міру передачі і ретрансляції сигналу випадкові тимчасові помилки можуть накопичуватися й досягти рівня, порівняного з тривалістю самого імпульсу. У результаті приймач помилково може інтерпретувати прийнятий біт-«втратити» біт. Такі випадкові тимчасові помилки одержали назву джитер і їхня поява характерна при синхронному режимі передачі. Зменшити джитер можна, підвищивши вимоги до

стандарту частоти генератора імпульсів. Однак при тривалому прийомі помилки через джитер все рівно можуть проскакувати.

Подальше зменшення помилок через джитер досягається, наприклад, у найбільш просунутій технології магістральних оптичних мереж SDN, у якій при синхронній передачі в бітовому потоці поряд з корисною інформацією присутні спеціальні синхроімпульси, по яких набудовується (плавно перебудовується під частоту передавача) таймер приймача. У складній мережі SDN існує один незалежний ведучий таймер, на який дорівнюються інші пристрої мережі.

1.6 Характеристики ПРОМ

1.6.1 Частота появи помилок

У цифрових системах, коли інформація передається бітами, мірою якості прийнятого сигналу є імовірність некоректного прийому “0” чи “1”, що називається частотою появи помилок (BER). Вона визначається як відношення кількості неправильно прийнятих бітів до повного числа прийнятих бітів. У цифрових системах, застосовуваних для нестатків телекомунікацій, частота появи помилок не повинна перевищувати величину 10^{-9} . В обчислювальних мережах вимоги до BER більш високі і ця величина не повинна перевищувати 10^{-12} . Частота появи помилок залежить від швидкості передачі – чим менше швидкість передачі, тим менше BER.

1.6.2 Чутливість цифрового ПРОМ

Чутливістю цифрового ПРОМ називається мінімальна потужність вхідного сигналу, при якій BER не виходить за рамки максимально припустимого значення, встановленого для даного додатка. Для нормальної роботи потужність вхідного оптичного сигналу повинна бути не менш чутливості ПРОМ. Чутливість цифрових приймачів прийнято вимірювати в дБм, або мВт.

1.6.3 Насичення ПРОМ

При великих вхідних оптичних сигналах можуть з’явитися “хвости” фотоструму, що залишаються і тоді, коли на фотоприймач вже не подається сигнал. В такому разі нульовий сигнал на вході,

слідуючий безпосередньо за одиницею, може бути невірно впізнаний, що призводить до зростання помилок.

Насиченням цифрового ПРОМ називається максимальна вхідна потужність, вище якої BER починає перевершувати максимально припустиму величину для даного додатку.

Діапазон значень потужності від чутливості до насичення ПРОМ називається динамічним діапазоном ПРОМ.

1.6.4 Максимально припустима зворотня напруга

$U_{\text{звор}}$ – це напруга перевищення якої може привести до пробою фотоприймача і його руйнуванню.

1.6.5 Робочий діапазон температур ($^{\circ}\text{C}$)

Є дві характеристики фотоприймача, на які дуже впливає зміна його робочої температури.

По-перше, це квантова ефективність, що може поводитися в загальному випадку досить складним образом зі зміною температури.

По-друге, зростання температури приводить до експоненціального росту термічно збуджених електронно-діркових пар, у результаті чого експоненціально зростає темрявий струм. Витік струму, звичайно, подвоюється при підвищенні температури на $8-10^{\circ}\text{C}$.

1.7 Завдання до лабораторної роботи

1.7.1 Розрахувати динамічний діапазон ПРОМ, якщо мінімальна чутливість ПРОМ “А”, а максимальна детектована потужність ПРОМ “В” (табл. 1.1).

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметри	Вихідні дані для розрахунку, що відповідають останній цифрі залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
А, дБм	-42	-34	-40	-38	-41	-35	-37	-36	-38	-34
В, дБм	-8	-3	-6	-4	-7	0	1	2	0	-9

1.7.2 Вивчити метод перетворення оптичного випромінювання в електричні сигнали.

1.7.3 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

1.7.4 Підготувати бланк протоколу, де повинні бути назва роботи, її мета, результати виконання лабораторної роботи, структурна схема ПРОМ, а також основні характеристики ПРОМ та розрахунки по п. 1.7.1.

1.8 Контрольні запитання

1. Які функції виконує ПРОМ, його призначення у схемі ВОЛЗ.
2. Перелічити функціональні вузли ПРОМ.
3. Накреслити функціональну схему ПРОМ та пояснити призначення його елементів.
4. Чому ПРОМ має окремо попередній підсилювач та головний підсилювач?
5. Яке призначення вузла вирівнювання?
6. Яке призначення вузла фільтрації?
7. Яке призначення вузла дискримінації?
8. Яка функція таймера?
9. Як працює таймер у режимі SDN?
10. Що таке чутливість ПРОМ?
11. Що таке частота з'явлення помилок?
12. Що таке насичення ПРОМ?
13. Які характеристики ПРОМ чутливі до зміни температур?
14. Як конструктивно виконується захист ПРОМ від зовнішніх шумів?
15. Що таке динамічний діапазон ПРОМ?

1.9 Прилади та обладнання

У лабораторній роботі використовуються 2 типи ПРОМ: КЭМ-8 та МПР-1-2А.

Обидва ПРОМ мають корпуси з відкритими кришками, що полегшує вивчення їх внутрішньої конструкції, а також електричний інтерфейс, оптичний інтерфейс-конектор, фотоперетворювач

оптичного випромінювання в електричний сигнал, мікрозборки попереднього та головного підсилювачів та інших компонентів.

1.10 Вказівки з техніки безпеки

При роботі з ПРОМ забороняється заглядати в торець оптичного з'єднувача, який може бути з'єднаний з ПРОМ, з якого може випромінюватись інфрачервоне випромінювання. Це небезпечно для Ваших органів зору!

1.11 Порядок проведення лабораторної роботи

У ході проведення лабораторної роботи необхідно ознайомитись з конструкцією ПРОМ, та усіх його елементів. Намалювати зовнішній вигляд ПРОМ і позначити усі його функціональні вузли та особливості їх виконання:

- як конструктивно виконан ПРОМ;
- як виконані мікросбірки, чому їх дві;
- як підводиться випромінювання до фотоприймача;
- як виконується захист електричної схеми від зовнішніх впливів;
- як виконується термостабілізація ПРОМ;
- які зовнішні електричні та оптичні ланцюги підходять до ПРОМ.

1.12 Зміст звіту

1. Назва і мета лабораторної роботи.
2. Структурна схема лабораторного макету, склад і призначення вузлів ПРОМ.
3. Основні характеристики ПРОМ.
4. Рисунок конструкції ПРОМ з поясненням розташування функціональних вузлів та їх призначення.
5. Результати розрахунків по п. 1.7.
6. Висновки по роботі.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ПЕРЕДАВАЛЬНІ КВАНТОВО-ЕЛЕКТРОННІ ОПТИЧНІ МОДУЛІ

2.1 Мета роботи

Вивчення устрою, принципу дії, конструкції, технічних характеристик та схемотехнічних рішень побудови передавальних квантово-електронних оптичних модулів (ПОМ).

2.2 Загальні відомості

2.2.1 Передавальні оптоелектронні модулі

Передавальні оптоелектронні модулі, застосовують у волоконно-оптичних системах для перетворення електричних сигналів в оптичні. Останні повинні бути введені у оптоволокно з мінімальними втратами. Виробляються дуже різноманітні ПОМ, які відрізняються по конструкції, а також по типу джерела випромінювання. Одні працюють на комп'ютерних швидкостях з максимальною відстанню у декілька метрів, інші передають сотні і навіть тисячі мега біт у секунду на відстані в кілька десятків кілометрів.

2.2.2 Типи і характеристики джерел випромінювання

Головним елементом ПОМ є джерело випромінювання. Перелічимо основні вимоги, яким повинні задовольняти джерела випромінювання, що застосовуються у ПОМ:

- випромінювання повинне вестися на довжині хвилі одного з вікон прозорості волокна. У оптичних волокнах існує три вікна, у яких досягаються менші втрати світла при поширенні: 850 нм, 1300 нм, 1550 нм;
- джерело випромінювання повинне підтримувати необхідну частоту модуляції для забезпечення передачі інформації на необхідній швидкості;

– джерело випромінювання повинно бути ефективним, у тому значенні, що велика частина випромінювання джерела попадає у волокно з мінімальними втратами;

– джерело випромінювання повинне мати досить велику потужність, щоб сигнал можна було передавати на великі відстані, але не на стільки, щоб випромінювання привело до нелінійних ефектів або могло пошкодити волокно чи оптичний приймач;

– температурні варіації не повинні чинити вплив на функціонування джерела випромінювання;

– вартість виробництва джерела випромінювання повинна бути не надто високою.

Два основних типи джерел випромінювання, що задовольняють перерахованим вимогам, використовуються в даний час – світлодіоди (LED) і напівпровідникові лазерні діоди (LD).

Головна відмінна риса між світлодіодами і лазерними діодами – це ширина спектра випромінювання. Світловипромінюючі діоди мають широкий спектр випромінювання, у той час як лазерні діоди мають значно більш вузький спектр, рисунок 2.1. Обидва типи пристроїв дуже компактні і добре сполучаються зі стандартними електронними ланцюгами.

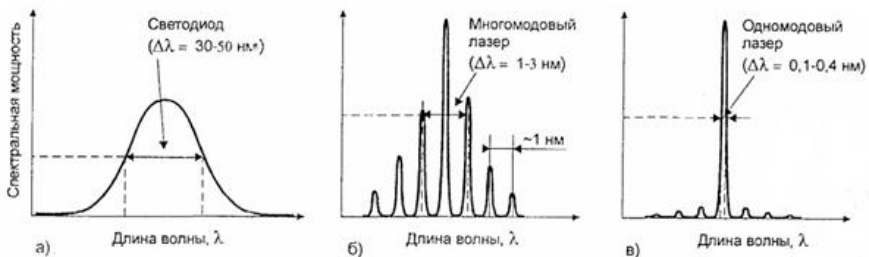


Рисунок 2.1 – Спектри випромінювання світлодіодів і лазерних діодів

2.3 Світловипромінюючі діоди

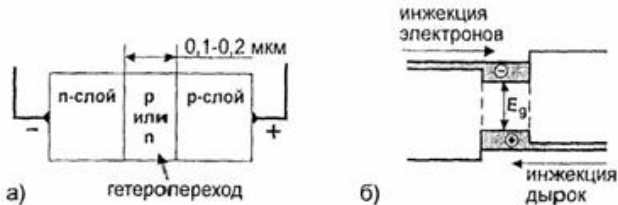
Завдяки своїй простоті та низкій вартості, світлодіоди поширені значно ширше, ніж лазерні діоди.

Принцип роботи світлодіода заснований на випромінювальній рекомбінації носіїв заряду в активній області гетерогенної структури

при пропущенні через неї струму (рис. 2.2 а). Носії заряду – електрони і дірки – проникають в активний шар (гетероперехід) із прилягаючих пасивних шарів (*p-n-шар*) унаслідок подачі напруги на *p-n* структуру і зазнають спонтанну рекомбінацію, що супроводжується випромінюванням світла.

Довжина хвилі випромінювання λ (мкм) пов'язана із шириною забороненої зони активного шару E_g , (eВ) законом збереження енергії $\lambda = 1,24/E_g$ (рис. 2.2 б).

Показник переломлення активного шару вище показника переломлення обмежуючих пасивних шарів, завдяки чому рекомбінаційне випромінювання може поширюватися в межах активного шару, випробуючи багаторазове відображення, що значно підвищує КПД джерела випромінювання.



а) гетероструктура; б) енергетична діаграма при прямому зсуві.

Рисунок 2.2 – Подвійна гетероструктура

Гетерогенні структури можуть створюватися на основі різних напівпровідникових матеріалів. Звичайно як підкладку використовують GaAs і InP. Відповідний композиційний склад активного матеріалу вибирається в залежності від довжини хвилі випромінювання і створюється за допомогою напилювання на підкладку (табл. 2.1).

Довжину хвилі випромінювання λ_0 визначають як значення, що відповідає максимуму спектрального розподілу потужності, а ширину спектра випромінювання $\Delta\lambda_{0,5}$ – як інтервал довжин хвиль, у якому спектральна щільність потужності складає половину максимальної.

Таблиця 2.1 – Композиційні матеріали, які використовуються для створення джерел випромінювання різних довжин хвиль

Активний матеріал	Підкладка	Діапазон можливих значень E , eV	Діапазон випромінюваних довжин хвиль λ , нм
Ga(1-x)AlxAs	GaAs	2,02...1,42	610...870
In(1-x)GaxAsyP(1-y)	InP	0,95	1100...1700
In _{0.73} Ga _{0.27} As _{0.58} P _{0.42}	InP	0,95	1310
In _{0.58} Ga _{0.42} As _{0.9} P _{0.1}	InP	0,80	1550

2.4 Лазерні діоди

Дві головних конструктивних відмінності є в лазерного діода в порівнянні зі світлодіодом. Перше, лазерний діод має убудований оптичний резонатор. Друге, лазерний діод працює при значно більших значеннях струмів накачування, чим світлодіод, що дозволяє при перевищенні деякого граничного значення одержати режим індукційованого випромінювання. Саме таке випромінювання характеризується високою когерентністю, завдяки чому лазерні діоди мають значно меншу ширину спектра випромінювання 1-3 нм для багатомодових лазерів і 0.1-0.4 для одномодових лазерів, проти 30-50 нм у світлодіодів (рис. 2.1).

Залежність потужності випромінювання від струму накачування описується ват-амперною характеристикою лазерного діода. При малих струмах накачування лазер виробляє слабе спонтанне випромінювання, працюючи як малоефективний світлодіод. При перевищенні деякого граничного значення струму накачування I_{thres} , випромінювання стає індукційованим, що приводить до різкого зростання потужності випромінювання і його когерентності (рис. 2.3).

Потужність вихідного випромінювання $P_{вих}$, чи вихідна потужність випромінювання світлодіода (output power) відбиває потужність випромінювання, що вводиться у волокно. Поряд із традиційною одиницею виміру Вт вона може вимірятися в дБм. Потужності $P_{вих}$, вимірюваної в мВт (10⁻³ Вт), буде відповідати потужність $P_{вих} = 10 \lg P_{вих}$ (дБм). Використання одиниці виміру дБм спрощує енергетичний розрахунок бюджету ліній. Потужність

випромінювання, що приводиться в характеристиках оптичного передавача, може варіюватися в деякому діапазоні. У таких випадках указують діапазон потужності випромінювання (output power range). Наприклад, -19/-14дБм означає, що $P_{\text{вих min}} = -19$ дБм, а $P_{\text{вих max}} = -14$ дБм.



1 – лазерний діод; 2 – світлодіод.

Рисунок 2.3 – Ват-амперні характеристики

У магістральних ВОЛЗ використовуються два вікна 1,3 і 1,55 мкм. Оскільки найменше загасання у волокні досягається у вікні 1,55 мкм, на надпротягнених безретрансляційних ділянках ($L \cong 100$ км) ефективніше використовувати оптичні передавачі саме з цією довжиною хвилі. У той же час на багатьох магістральних ВОЛЗ до складу ВОК входять тільки східчасті одномодові волокна, що мають мінімум хроматичної дисперсії в околиці 1,3 мкм (волокон зі зміщеною дисперсією немає). На довжині хвилі 1,55 мкм питома хроматична дисперсія в SMF складає 17 пс/нм-км. А оскільки смуга пропускання зворотно пропорційна ширині спектра випромінювання, то збільшити смугу пропускання можна тільки зменшуючи ширину спектра випромінювання лазера. При ширині спектра $\Delta\lambda = 4$ нм смуга пропускання на 100 км складає 63 МГц, а при $\Delta\lambda = 0,2$ нм відповідно 1260 МГц. Отже, для того щоб оптичні передавачі на довжині хвилі 1,55 мкм могли в однаковій мірі використовуватися на протяжній лінії не тільки з одномодовим волокном зі зміщеною дисперсією (DSF), але

і зі східчастим волокном (SMF), необхідно робити ширину спектрівипромінювання передавачів якнайменше.

2.5 Інші характеристики

Також важливими характеристиками джерел випромінювання є:

- швидкодія джерела випромінювання;
- деградація і час наробітку на відмовлення.

2.5.1 Швидкодія джерела випромінювання

Експериментально вимірюваним параметром, що відображує швидкодію джерела випромінювання, є максимальна частота модуляції. Попередньо встановлюються пороги на рівні 0,1 і 0,9 від сталого значення потужності світлового випромінювання при низькочастотній модуляції прямокутними імпульсами струму. В міру зростання частоти модуляції, тобто при переході на менші масштаби по тимчасовій шкалі, форма світлових фронтів стає більш пологою. Для опису фронтів уводять часи наростання τ_{rise} і спаду τ_{fall} потужності випромінювання, обумовлені як тимчасові інтервали, за які відбувається зростання від 0,1 до 0,9 і, навпаки, спад світлового сигналу від 0,9 до 0,1. Максимальна частота модуляції визначається як частота вхідних електричних імпульсів, при яких вихідний оптичний сигнал перестає перетинати граничні значення 0,1 і 0,9, залишаючись при цьому у внутрішній області. Для світлодіодів ця частота може досягати до 200 МГц, а в лазерних діодів – значно більше (декілька ГГц). Часи наростання і спаду надають інформацію про смугу пропускання W . Якщо припустити, що вони рівні між собою (а це не завжди так), то смугу пропускання можна визначити по формулі:

$$W = 0,35/\tau_{\text{rise}} \quad (2.1)$$

2.5.2 Деградація і час наробітку на відмовлення

В міру експлуатації оптичного передавача його характеристика поступово погіршуються – падає потужність випромінювання, і, зрештою, він виходить з ладу. Це зв'язано з деградацією напівпровідникового шару. Надійність напівпровідникового

випромінювача визначається середнім наробітком на відмовлення чи інтенсивністю відмовлень. Лазерні діоди, що випускалися десять років тому, мали значно меншу надійність у порівнянні зі світлодіодами. Однак у даний час, завдяки удосконаленню конструкцій і технології виготовлення, вдалося значно підвищити надійність лазерних діодів і наблизити їх до світлодіодів за часом наробітку на відмовлення, що складає до 50000 годин і більш (5-8 років).

2.6 Основні елементи ПОМ

Для організації передачі оптичних сигналів у ВОЛЗ недостатньо мати тільки джерело випромінювання, а потрібно ще ряд оптичних і електронних компонентів, у сукупності, що складають оптоелектронний модуль.

До складу ПОМ звичайно входять наступні елементи:

- джерело випромінювання;
- вузол електричного інтерфейсу;
- ланцюг струму накачування;
- система контролю температури;
- вузол вихідного контролю оптичного сигналу.

Убудь-якій конструкції ПОМ є спеціальний тримач (housing), що дозволяє закріпити і захистити складені елементи передавача: джерело випромінювання, вузол електричного інтерфейсу і місце сполучення з волокном. Іноді вимагаються додаткові внутрішні елементи для оптимального приєднання волокна. Важливим елементом лазерних діодів є ланцюг струму накачування, і система контролю температури. Для складних лазерних систем додають вихідний моніторинг оптичного сигналу. Загальна схема конструкції оптичного передавача, у якій не всі елементи є обов'язковими, показана на рисунку 2.4.

2.7 Завдання до лабораторної роботи

2.3.1 Вивчити метод перетворення електричних сигналів в оптичне випромінювання і типи перетворювачів, які використовуються в ВОЛЗ.

2.3.2 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

2.3.3 Підготувати бланк протоколу, де повинні бути назва роботи, її мета, результати виконання лабораторної роботи, структурна схема ПОМ з поясненням призначення його вузлів, а також основних характеристик ПОМ.

2.3.4 Використовуючи Додаток А вибрати ПОМ з характеристиками наведеними в таблиці 2.2.



Рисунок 2.4 – Складові елементи передавального оптикоелектронного модуля

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунків

Параметри	Вихідні дані для вибору ПОМ, що відповідають останній цифрі залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Довжина хвилі випромінювання, нм	840	1300	1550	1300	840	1300	1550	1300	840	1300
Вихідна потужність випромінювання, нм	2	0.035	1	2	2	0.035	1	2	2	0.035
Наявність теплового моніторинга	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Наявність оптичного моніторинга	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-

2.8 Контрольні запитання

1. Які функції виконує ПОМ та його призначення у схемі ВОЛЗ?
2. Перерахуйте функціональний склад вузлів ПОМ.
3. Накреслить функціональну схему ПОМ та пояснити призначення його вузлів.
4. Поясніть призначення електричного перетворювача.
5. Яке призначення вузла струму накачки?
6. Яку функцію виконує джерело випромінювання?
7. Як виконується охолодження випромінювача?
8. Як виконується температурний моніторинг?
9. Як виконується оптичний моніторинг?
10. Коли використовується внутрішній модулятор?
11. Яке призначення атенюатора?
12. Яким вимогам повинні відповідати джерела випромінювання?
13. Які два типи випромінювачів використовуються в ВОЛЗ і їх головні відмінні риси?
14. Поясніть, що таке швидкодія випромінювачів і чим вона обумовлена.
15. Чим обумовлена деградація випромінювачів?

2.9 Прилади та обладнання

В лабораторній роботі використовується ПОМ до складу якого входить:

- лазерний діод ІЛПН-206, разом з фотоприймачем моніторингу;
- терморезистор;
- мікроохолоджувачі-елементи Пельтьє;
- радіатор;
- монтажні елементи;
- волоконно-оптичний шнур з конекторами;
- захисний корпус з теплоізолюючим середовищем.

Конструкція ПОМ.

ІЛПН-206 встановлено на малому радіаторі до якого з двох сторін закріплені охолоджувачі поверхні термоелементів Пельтьє. Інші поверхні термоохолоджувачів, які підігріваються, закріплені на середньому радіаторі, який встановлено на великому радіаторі і який міститься на передаючій панелі комплекту КЛТ-24.

Усі теплоотводячі поверхні радіаторів для кращого відводу тепла пофарбовані теплопровідною пастою.

Оптичне випромінювання відводиться з лазера за допомогою оптичного шнура з з'єднувачами типу "Ліст-Х". Електричні ланцюги комплекту КЛТ-24 з'єднуються з десятима виводами модуля.

Усі деталі модуля захищені металевим корпусом, вільний простір в якому заповнений термозахисною рідиною.

2.10 Вказівки з техніки безпеки

При роботі з ПОМ у разі його вмикання до напруги живлення забороняється заглядати в торець оптичного з'єднувача, з якого може випромінюватися інфрачервоне випромінювання. Це небезпечно для Ваших органів зору!

2.11 Хід виконання лабораторної роботи

2.7.1 У ході проведення лабораторної роботи необхідно ретельно ознайомитися з конструкцією ПОМ та усіх його елементів.

2.7.2 Намалювати зовнішній вигляд ПОМ і позначити усі його функціональні вузли та особливості їх виконання:

- як конструктивно виконати ПОМ?
- як закріплено лазерний діод до радіатора?
- як охолоджується радіатор?
- як відводиться тепло до головного радіатора?
- як виконується тепловий моніторинг?
- як виконується оптичний моніторинг?
- чому ПОМ має 10 провідних виводів?

2.12 Зміст звіту

2.8.1 Назва і мета лабораторної роботи.

2.8.2 Структурна схема лабораторного макету, склад і призначення вузлів ПОМ.

2.8.3 Рисунок конструкції ПОМ з поясненням розташування функціональних вузлів та елементів.

2.8.4 Пояснення призначення основних вузлів та елементів ПОМ.

2.8.5 Перелік характеристик ПОМ.

2.8.6 Результати розрахунків по п. 2.3.4.

2.8.7 Висновки по роботі.

2.13 Рекомендована література

1. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку / В.Б. Каток. – К., 1999. – 482 с.

2. Корнийчук В.І. Волоконно-оптичні системи передачі інформації / В.І. Корнийчук, І.В. Панфілов. – Одеса: Друк, 2001.

3. Щекотихін О.В. Компоненти та пристрої волоконно-оптичних ліній зв'язку: навч. посібник / О.В. Щекотихін, Д.М. Піза, Т.І. Бугрова; – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 306 с.

4. Щекотихін О.В. Пасивні волоконно-оптичні мережі доступу PON: монографія / О.В. Щекотихін, І.М. Сметанін, Д.М. Піза. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 301 с.

ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ ОПТИЧНИЙ МОДУЛЬ ПОМ-518

Призначення: робота в аналогових і цифрових волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Склад модуля:

- InGaAsP лазерний діод;
- фотодіод зворотного зв'язку;
- термоелектричний мікроохолоджувач;
- терморезистор.

Конструктивні особливості:

- герметичний корпус з дворядним розташуванням виводів (DIL);
- вивід випромінювання через відрізок волоконно-оптичного кабелю оконцованого стандартним з'єднувачем.

Короткий опис: оптичний модуль ПОМ-518 призначений для передачі інформації зі швидкістю до 300 Мбіт/с. Термоелектричний мікроохолоджувач і терморезистор забезпечують стабілізацію температурного режиму роботи. Вбудований фотодіод дозволяє контролювати потужність випромінювання модуля. Основні параметри модуля приведені в таблиці А.1.

На рисунках А.1 та А.2 зображено зовнішній вигляд модуля та його зовнішні габарити.

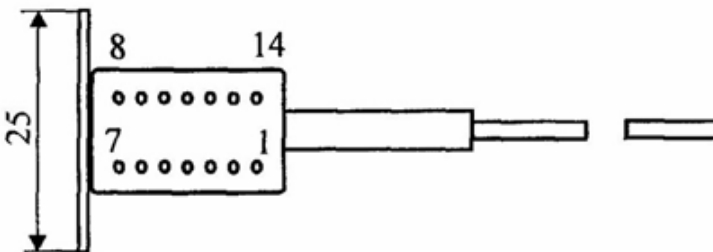


Рисунок А.1 – Зовнішній вигляд модуля

Таблиця А.1 – Параметри передавального оптичного модуля ПОМ-518

Параметр	Мін.	Тип.	Макс.	Од. вим.
Довжина хвилі випромінювання	1470	1550	1570	нм
Потужність випромінювання	1,0			мВт
Струм накачування лазерного діода			85	мА
Напруга на фотодіоді	4		5	U
Фотострум вбудованого фотодіода	20			мкА
Струм мікроохолоджувача			0,5	А
Напруга на мікроохолоджувачі			1	U
Опір терморезистора при 25 °С		15		кОм
Робоча температура	-10		+55	°С

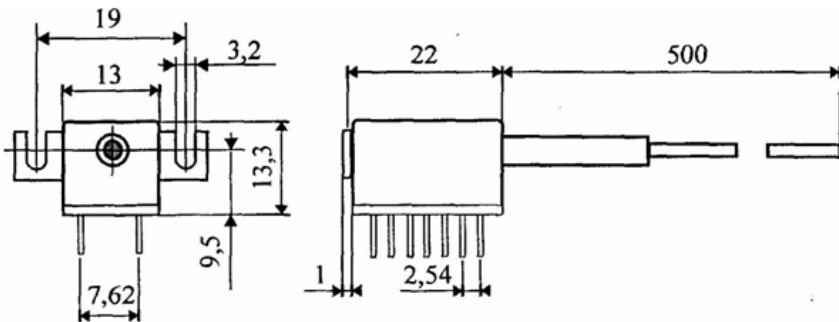


Рисунок А.2 – Зовнішні габарити модуля

Призначення виводів:

- 1 – анод мікроохолоджувача (+);
- 5 – анод лазерного діода (+);
- 7 – катод вбудованого фотодіода (+);
- 8 – анод вбудованого фотодіода (-);
- 9 – катод лазерного діода (-);
- 11 – терморезистор;
- 12 – терморезистор;
- 14 – катод мікроохолоджувача (-);
- 2, 3, 4, 6, 10, 13 – немає з'єднання.

ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ ОПТИЧНИЙ МОДУЛЬ ПОМ-561

Призначення: робота в аналогових і цифрових волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Склад модуля:

- InGaAsP лазерний діод;
- фотодіод зворотнього зв'язку.

Конструктивні особливості:

- герметичний корпус з дворядним розташуванням виводів (DIL);
- вивід випромінювання через відрізок волоконно-оптичного кабелю оконцованого стандартним з'єднувачем.

В таблиці А.2 вказано основні параметри модуля ПОМ-561.

Таблиця А.2 – Основні параметри модуля ПОМ-561

Параметр	Мін	Тип	Макс одиниця виміру	
Довжина хвилі випромінювання	1270	1300	1330	нм
Вихідна потужність випромінювання	2			мВт
Струм накачування лазерного діода			80	мА
Напруга живлення убудованого фотодіода			5	В
Струм убудованого фотодіода	20			мкА
Температура навколишнього середовища	10		+60	°С

Короткий опис: передавальний оптичний модуль ПОМ-561 призначений для передачі інформації зі швидкістю до 350 Мбіт/с.

Модуль має розширений температурний діапазон без застосування термоелектричних мікроохолоджувачів (ТЕМО).

На рисунках А.3 зображено зовнішній вигляд модуля та його габарити.

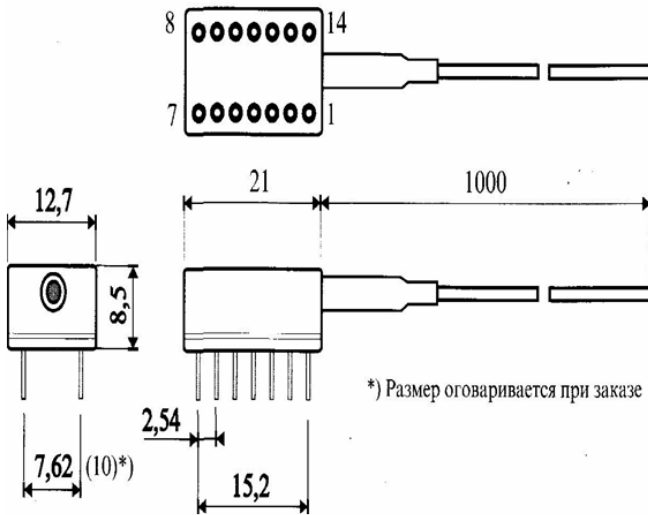


Рисунок А.3 – Зовнішній вигляд модуля та його габарити

Призначення виводів:

- 5 – анод лазерного діода (+);
- 6 – корпус;
- 7 – катод вбудованого фотодіода (+У);
- 8 – анод вбудованого фотодіода (-V);
- 9 – катод лазерного діода (-);
- 1-4, 10-14 – не використовуються.

ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ ОПТИЧНИЙ МОДУЛЬ ПОМ-14-0,85

Призначення: робота в аналогових і цифрових волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Склад модуля:

- GaAlAs лазерний діод;
- фотодіод зворотного зв'язку;
- термоелектричний мікроохолоджувач;
- терморезистор.

Конструктивні особливості:

- герметичний корпус з дворядним розташуванням виводів (DIL);
- вивід випромінювання через відрізок волоконно-оптичного кабелю оконцованого стандартним з'єднувачем.

В таблиці А.3 вказано основні параметри модуля ПОМ-14-0,85.

Таблиця А.3 – Основні параметри модуля ПОМ-14-0,85

Параметр	Мін	Тип	Макс	Од. вим.
Довжина хвилі випромінювання	820		860	нм
Напівширина спектра	0,1	3	8	нм
Потужність випромінювання	1,5	2	3	мВт
Робочий струм			60	мА
Фотострум убудованого фотодіода	50			мкА
Напруга на фотодіоді	4		5	В
Струм мікроохолоджувача			0,3	А
Опір терморезистора при 25 °С		15		кОм

На рисунках А.4 та А.5 зображено зовнішній вигляд модуля та його зовнішні габарити.

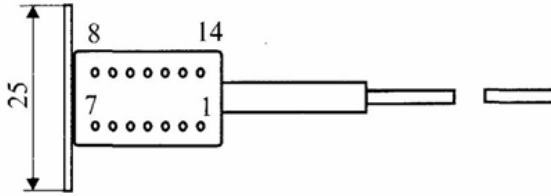


Рисунок А.4 – Зовнішній вигляд модуля

Короткий опис: оптичний модуль ПОМ-14-0,85 призначений для передачі інформації зі швидкістю до 200 МБіт/с. Термоелектричний мікроохолоджувач і терморезистор забезпечують стабілізацію температурного режиму роботи. Вбудований фотодіод дозволяє контролювати потужність випромінювання модуля. Основні параметри модуля приведені в таблиці А.3.

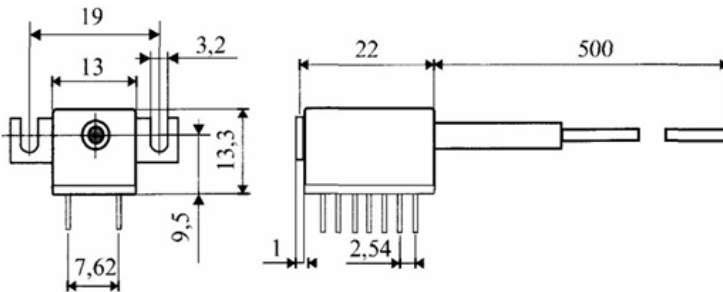


Рисунок А.5 – Зовнішні габарити модуля

Призначення виводів:

- 1 – анод мікроохолоджувача (+);
- 5 – анод лазерного діода (+);
- 7 – катод вбудованого фотодіода (+);
- 8 – анод вбудованого фотодіода (-);
- 9 – катод лазерного діода (-);
- 11 – терморезистор;
- 12 – терморезистор;
- 14 – катод мікроохолоджувача (-);
- 2, 3, 4, 6, 10, 13 – немає з'єднання.

ПЕРЕДАВАЛЬНІ ОПТИЧНІ МОДУЛІ СЕРІЇ ПОМ-460

Призначення: робота у волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Склад модуля:

- InGaAsP торцевий світодіод;
- імпульсний модулятор.

Конструктивні особливості:

– герметичний корпус з дворядним розташуванням виводів (DIL);

– вивід випромінювання через відрізок волоконно-оптичного кабелю оконцованого стандартним з'єднувачем.

Короткий опис: модуль ПОМ-460 містить імпульсний модулятор виконаний по гібридній інтегральній технології. Модулятор керується сигналами в рівнях ТТЛ і містить схему параметричної температурної стабілізації потужності випромінювання.

Серія модулів ПОМ-460 містить двох модифікацій: ПОМ-460-1 із уведенням випромінювання в багатомодове волокно $\text{Ø}50/125$ мкм і ПОМ-460-2 із уведенням випромінювання в одномодове волокно $\text{Ø}9/125$ мкм. Спектр випромінювання, схема включення та основні параметри модулів приведені на рисунках А.6, А.7, А.8 і в таблиці А.4.

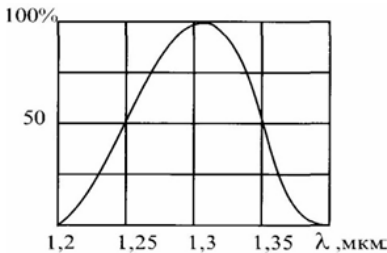


Рисунок А.6 – Типовий спектр випромінювання

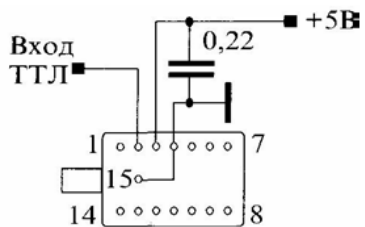


Рисунок А.7 – Схема включення

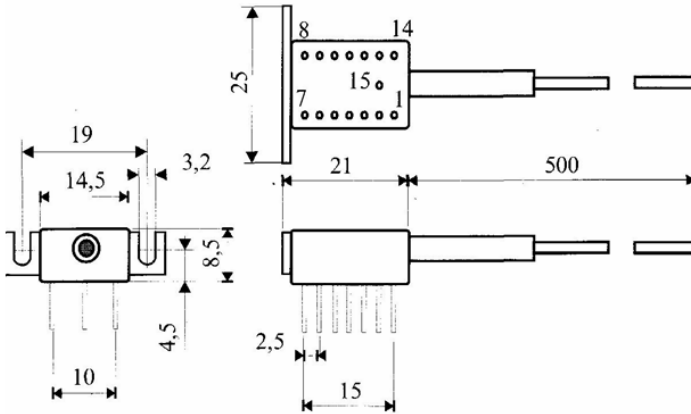


Рисунок А.8 – Зовнішній вигляд модуля та його габарити

Таблиця А.4 – Основні параметри модуля ПОМ-460

Параметр	Мін	Тип	Макс
Довжина хвилі(λ), нм	1250	1300	1340
Вихідна потужність в імпульсі, мкВт			
ПОМ-460-1 (МВОК)	25	35	
ПОМ-460-2 (ОВОК)	4	6	
Ширина спектра, нм		100	
Длит. фронту і зрізу оптич. імпульсу, нс		2	3
Споживлений струм, мА			90
Напруга живлення, В	4,5	5	5,5

Призначення виводів:

2 – вхід ТТЛ 5, 10-Контроль СД;

3 – живлення +5В;

15 – корпус;

4 – загальний;

1, 6-9, 11-14 – не використовуються.