

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з дисципліни
"Проектування комп'ютерних мереж"
для студентів спеціальностей 7.05010201, 8.05010201 "Комп'ютерні
системи та мережі" та 7.05010203, 8.05010203 "Спеціалізовані
комп'ютерні системи", усіх форм навчання
Частина 1

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни "Проектування комп'ютерних мереж" для студентів спеціальностей 7.05010201, 8.05010201 "Комп'ютерні системи та мережі" та 7.05010203, 8.05010203 "Спеціалізовані комп'ютерні системи", усіх форм навчання. Частина 1 / Укл. Г.Г. Киричек, М.П. Проскурін, С.Ю. Скрупський, О.В. Щекотіхін.– Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 62 с.

Укладачі: Г.Г. Киричек, к.т.н., доцент
М.П. Проскурін, к.т.н., доцент
С.Ю. Скрупський, к.т.н., доцент
О.В. Щекотіхін, к.т.н., доцент

Рецензент: О.І. Вершина, к.т.н., доцент

Відповідальний
за випуск: Г.Г. Киричек, к.т.н., доцент

Затверджено:
на засіданні кафедри
"Комп'ютерні системи та мережі"
Протокол №3 від 27.10.2014 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Практична робота №1 <i>Волоконно-оптичні світловоди</i>	6
1.1 Загальні відомості.....	6
1.2 Завдання до роботи.....	26
1.3 Контрольні питання.....	26
1.4 Матеріали, інструмент, обладнання.....	27
1.5 Техніка безпеки.....	27
1.6 Порядок проведення роботи.....	27
1.7 Зміст звіту.....	28
2 Практична робота №2 <i>Волоконно-оптичні кабелі</i>	29
2.1 Загальні відомості.....	29
2.2 Завдання до роботи.....	37
2.3 Контрольні питання.....	37
2.4 Матеріали, інструмент, обладнання.....	37
2.5 Техніка безпеки.....	38
2.6 Порядок проведення роботи.....	38
2.7 Зміст звіту.....	39
3 Практична робота №3 <i>Нероз'ємні з'єднання оптичних волокон</i>	40
3.1 Загальні відомості.....	40
3.2 Завдання до роботи.....	46
3.3 Лабораторний макет.....	46
3.4 Контрольні питання.....	48
3.5 Послідовність технологічних операцій при зварюванні.....	48
3.6 Проведення роботи.....	49
3.7 Техніка безпеки.....	50
3.8 Зміст звіту.....	50
4 Практична робота №4 <i>Волоконно-оптичні розгалужувачі</i>	51
4.1 Теоретичні відомості.....	51
4.2 Завдання до роботи.....	58

4.3 Контрольні питання.....	59
4.4 Прилади та обладнання.....	59
4.5 Техніка безпеки.....	60
4.6 Порядок виконання роботи.....	60
4.7 Зміст звіту.....	61
Література.....	62

ВСТУП

Основна мета методичних вказівок до практичних робіт (ПР) - ознайомлення з найбільш важливими питаннями, які пов'язані з фізичними особливостями використовуваних оптичних явищ, елементної бази для розробки і підходів до кодування сигналів при проектуванні комп'ютерних мереж (ПКМ) на основі волоконно-оптичних ліній/систем зв'язку (ВОЛ/СЗ) і передачі інформації (ВОСПІ), а також їх експлуатації. ПР повинні надати студентам уяву про основні фізичні властивості, особливості і характеристики ВОЛ/СЗ, ВОСПІ склад обладнання і його основні параметри, відповіді на пов'язані з ними питання, допомогти засвоїти їм отримані знання та вміння під час безперервного їх проведення.

Під час виконання ПР студент повинен:

- знати сутність ПР і зміст роботи;
- виконати ПР та відповіді на контрольні запитання;
- зробити розрахунки (згідно варіанту) і привести висновки;
- оформити і захистити звіт.

1 ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Волоконно-оптичні світловоди

Мета роботи - ознайомлення з основою теоретичних відомостей про волоконно-оптичні світловоди (ВОС), принципом поширення в них оптичного випромінювання, вивчення основних типів ВОС в залежності від профілю показника заломлення, ознайомлення з їх конструкцією, геометричними особливостями та основними характеристиками і закріплення їх у ході практичних занять.

1.1 Загальні відомості

Світловод - пристрій, який обмежує область поширення оптичних коливань і направляє потік світлової енергії в заданому напрямку (оптичне середовище для поширення).

Розрізняють два види світловодів: пласкі та волоконні (рис.1.1). Пласкі (планарні) світловоди у свою чергу підрозділяють на: плівкові, (рис.1.1а) і каналні, (рис.1.1б).

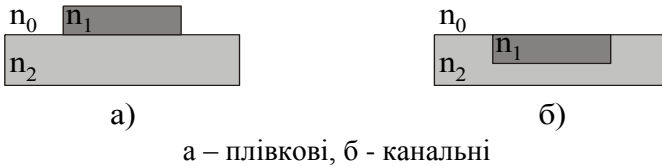


Рисунок 1.1 - Плівкові світловоди

Волоконні світловоди бувають: одношарові, (рис.1.2а); двошарові, (рис.1.2б); тришарові (рис.1.2в) і т.д.

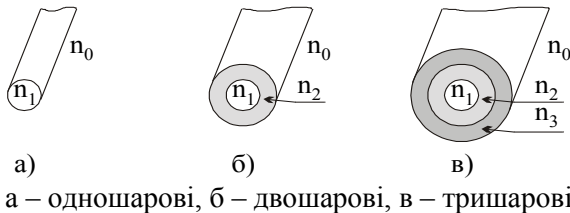


Рисунок 1.2 - Волоконні світловоди

Де n_i - показник заломлення (ПЗ) навколишнього середовища; n_1 - ПЗ середовища, що веде світ; n_2 , n_3 - ПЗ заломлення оболонки, що відбиває світло і захисної оболонки, відповідно.

Волоконні світловоди. Найбільше поширення у волоконно-оптичних мережах і системах зв'язку (ВОМЗ, ВОСЗ) одержали діелектричні світловоди круглого поперечного перетину, які складаються з двох або декількох концентричних прошарків діелектрика. ПЗ внутрішнього прошарку і серцевини у загальному випадку є функцією радіальної координати і її називають профілем показника заломлення (ПЗ). ПЗ зовнішніх прошарків (оболонок) є постійними. Основні параметри, які характеризують тип ВОС:

- геометричні розміри;
- ППЗ;
- коефіцієнт загасання ВОС;
- спектральна крива загасання ВОС;
- дисперсія ВОС;
- смуга пропускання ВОС;
- коефіцієнт широкосмуговості ВОС;
- числова апертура N_A .

Найпростіший світловод являє собою колоподібний діелектричний стрижень (серцевина з n_1 , яка оточена діелектричною оболонкою з n_2 - рис.1.2.б, в). ПЗ матеріалу серцевини n_1 , а оболонки n_2 вираховуються згідно формул 1.1 і 1.2, відповідно.

$$n_1 = \sqrt{\xi_1}, \quad (1.1)$$

$$n_2 = \sqrt{\xi_2}, \quad (1.2)$$

де ξ_1, ξ_2 - відносні діелектричні проникності матеріалів ВОС з n_1, n_2 .

Відносна магнітна проникність матеріалу μ звичайно постійна і дорівнює одиниці. Для передачі електромагнітної енергії по світловоду використовується явище повного внутрішнього відбитка на межі поділу двох діелектричних середовищ, тому необхідно, щоб ПЗ серцевини був більше показника заломлення оболонки:

$$n_1 > n_2 \quad (1.3)$$

Число і структура мод, які поширюються. У залежності від розміру кута Θ (рис.1.3), який утворюють промені (виходять із крапкового джерела в центр торця ВОС) із віссю світловоду, мають місце кілька типів оптичних хвиль: моди «а», які спрямовуються в середині ВОС; моди оболонки «б», що поширюються на порівняно невеличкій відстані; моди «в», які виходять назовні світловоду (рис.1.3).

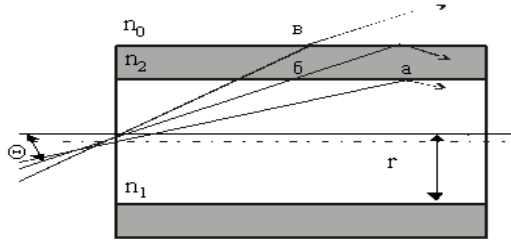


Рисунок 1.3 - Моді в ступінчастому ВОС

У серцевині і оболонці існують два види променів (рис.1.4): меридіональні, які перетинаються з віссю світловоду, і косі, які з нею не перетинаються. Якщо кут Θ менше деякого критичного кута $\Theta_{кр}$, що відповідно до закону Снеліуса визначається співвідношенням:

$$\sin \Theta_{\text{кр}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{\xi_1 - \xi_2}, \quad (1.4)$$

то промінь цілком відбивається на межі поділу «серцевина - оболонка» і залишається у серцевині (промінь «а»), а оболонка захищає світло, яке поширюється по ВОС від будь-яких зовнішніх впливів і перешкод. Кожна власна мода світловоду має характерну для неї структуру електромагнітного поля, фазову і групову швидкості. ВОС, які підтримують поширення однієї моди, називають одномодовими ($M = 1$), більшого числа мод - багатомодовими. Іноді ВОС, кількість мод у якого не перевищує 100, називають маломодовим. По одному світловоду одночасно може поширюватися тільки визначений дискретний набір електромагнітних хвиль, кожна з яких є власною хвилею або модою. У хвильовому фронті кожної моди коливання поширюються з загальною фазою.

Якщо ця умова не виконується, то хвилі інтерферують так, що гасять одна одну і зникають. Хвилі в сердцевині, які відповідають променям, траєкторії яких утворюють малі кути з віссю ВОС, називають модами нижчих порядків, а траєкторії які утворюють великі кути з віссю ВОС, називають модами вищих порядків.

З рисунку 1.3 видно, що частина променів, які проникли у світловод, може поширюватися тільки по його сердцевині (мода «а»), а частина може поширюватися по оболонці світловоду (мода «б») на порівняно невеличкій відстані. Частина виходить назовні (мода «в», яка витікає). Хвилі випромінювання (а), поширюються безупинно по усій приналежній їм області кутів і утворюють безперервний спектр. Хвилі оболонки (б) і витікаючі (в) - паразитні хвилі, які відбирають енергію джерела випромінювання (ДВ) і зменшують її при передачі у ВОС.

У багатомодових світловодах діаметр сердцевини вибирається на багато більшим довжини хвилі оптичної несучої і умови повного внутрішнього відбитка виконуються для багатьох типів хвиль -мод. У одномодових світловодах діаметр сердцевини одного порядку із довжиною хвилі і за рахунок цього в ньому існує тільки одна мода. Одномодовий режим практично досягається при застосуванні дуже тонких волокон, близьких по діаметру довжині хвилі ($d \approx \lambda$). Число типів хвиль (мод) у світловоді залежить від діаметра сердцевини d і довжини хвилі λ . Зі збільшенням діаметра сердцевини ($d = 2r$, рис.1.3) і зменшенням довжини хвилі λ число мод M зростає. Також прагнуть зменшити різницю між ПЗ сердцевини і оболонки ($n_1 \approx n_2$).

Профіль показника заломлення. Для характеристик світловоду велике значення має профіль показника заломлення (ПЗ) в поперечному перетині (рис.1.4-1.7).

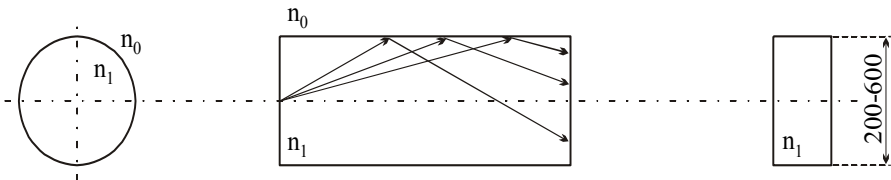


Рисунок 1.4 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна без покриття: хід променів; розміри діаметра сердцевини в мкм

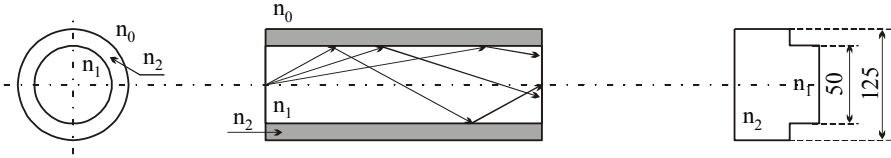


Рисунок 1.5 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна двошарового багатомодового світловоду: хід променів; розміри діаметра сердцевини і оболонки в мкм

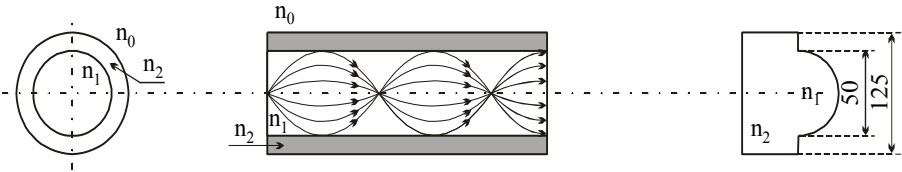


Рисунок 1.6 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна градієнтного багатомодового світловоду: хід променів; розміри сердцевини і оболонки в мкм

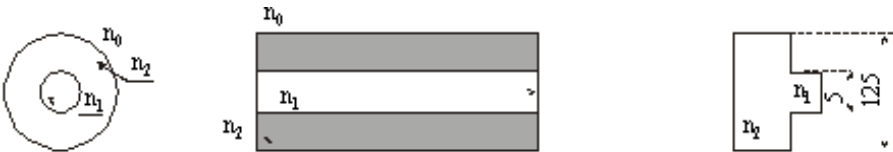


Рисунок 1.7 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна двошарового одномодового світловоду: хід променів; розміри діаметра сердцевини в мкм

Практичний інтерес мають неоднорідності в поперечному перетині світловоду, тому що вони можуть мати характеристики, які неможливо одержати в однорідних світловодах.

Якщо сердцевина ВОС має постійне по радіусу значення профілю ПЗ (є сходишка n на межі «серцевина - оболонка»), то вони називаються світловодами зі східчастим профілем показника заломлення (рис.1.5). Якщо ПЗ від центру до краю змінюється не ступінчасто, а плавно, то вони називаються ВОС з градієнтним ПЗ

(рис.1.6). У градієнтному світловоді промені згибаються в напрямку градієнту показника заломлення (замість повного заломлення і відбитка, як у випадку волокна зі східчастим профілем).

У залежності від умов поширення світлової хвилі в серцевині ВОС діляться на дві групи: одномодові (SM - single mode) і багатомодові (MM - multi mode) причому останні можуть бути східчастими або градієнтними. Класифікація основних типів волоконних світловодів відображена на рис.1.8.



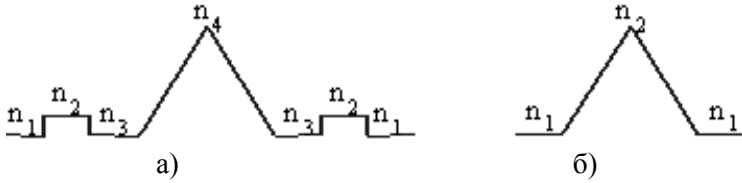
Рисунок 1.8 - Типи ВОС

Найпростішим типом ВОС є східчастий світловод, у якому ПЗ матеріалу серцевини не змінюється в міру видалення від осі волокна аж до оболонки. У східчастих багатомодових волокнах траєкторії променів окремих мод мають вид зигзагоподібних ліній (рис.1.5). У градієнтному світловоді траєкторії поширення більшості променів являють собою плавні криві (рис.1.6). У одномодовому ВОС промінь поширюється майже прямолінійно. Структура показники заломлення одномодових волокон може бути різних профілів, деякі з них відображені на рисунках 1.9-1.11.



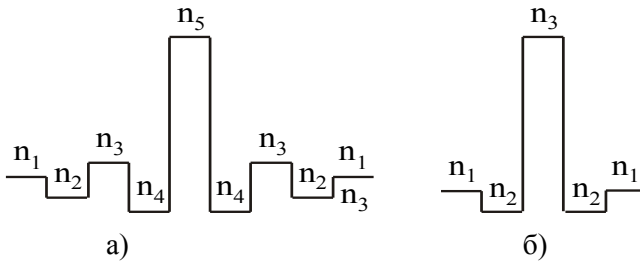
а) звичайний східчастий профіль, проста східчаста оболонка; б) східчастий профіль із зменшеним ПЗ оболонки

Рисунок 1.9 - Структура профілю ПЗ ВОС без зсуву дисперсії



а) сегментний профіль ПЗ з трикутною серцевиною (сегментна серцевина); б) трикутний профіль ПЗ

Рисунок 1.10 - Структура профілю ПЗ ВОС із зсувом дисперсії



а) сегментний профіль із чотирьохсхідчатим ПЗ оболонки (квадрупольна оболонка); б) W-образний профіль (дубльована оболонка)

Рисунок 1.11 - Структура профілю ПЗ ВОС із згладжуванням дисперсії

Геометричні розміри світловодів. До основних геометричних розмірів ВОС відносять діаметри серцевини d і оболонки, які відбиває світло - D (рис.1.12а).

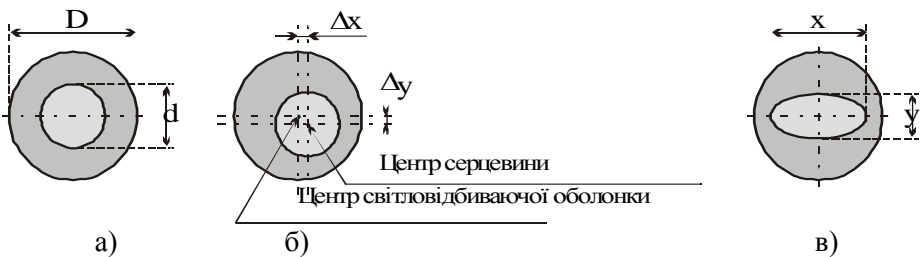


Рисунок 1.12 - Геометричні розміри ОС

До додаткових розмірів відносять: несоосність (неконцентричність) Δx і Δy серцевини і оболонки; неокруглість (еліпсність) серцевини, а також товщину захисних оболонок. Несосоосність і неокруглість виражається у відсотках.

Конструкції світловодів. Типова конструкція волоконно-оптичного світловоду (рис.1.13) складається із серцевини, світловідбиваючої оболонки, лакової оболонки і кремній-полімерної оболонки.

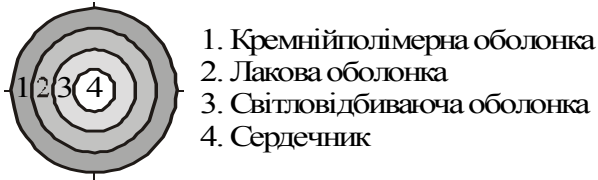


Рисунок 1.13 –Типова конструкція ВОС

Вибір діаметра серцевини визначається багатьма чинниками. Чим більше діаметр, тим більше кількість світлової енергії вводиться у світловод, менше втрати на мікрозгибах, легше здійснювати операції монтажу і з'єднання. Зменшення діаметра серцевини збільшує його гнучкість. Оптимальним для багатомодового кварцового волокна є діаметр серцевини 50 мкм, світловідбиваючої оболонки (в 2,5 рази більше) - 125 мкм. Для одномодового - діаметр серцевини 3...8 мкм, діаметр оболонки - 62,5...125 мкм (через зручність монтажу). При цьому досягаються розміри серцевини сумірні з довжиною хвилі 1,3...1,55 мкм. Одномодові ВОС забезпечують більшу дальність передачі і одержання мінімальної дисперсії чим багатомодові.

Висока точність підтримки геометричних розмірів, відсутність сторонніх умикань, пухирців, тріщин роблять значні впливи на передатні характеристики ВОС, на такі як загасання і ширина смуги пропускання. Покриття ВОС повинно захистити його від атмосферних впливів і деформацій, викликаних зовнішніми силами. ВОС мають декілька захисних покриттів: первинне покриття - тонка (5-10 мкм) лакова плівка з ацетату целюлози, епоксидної смоли, силікону, уретану або інших аналогічних матеріалів. Вона захищає від контакту з атмосферою, перешкоджає утворенню мікротріщин на поверхні,

зберігаючи його механічну тривкість. Ця плівка наноситься відразу після витяжки на ще гаряче волокно напилюванням, або протяганням ВОС через судину з відповідним розчином. Після сушки ВОС намотується на барабан або передається на наступну операцію.

Призначення наступних прошарків - усунення впливів на ВОС поперечних сил і збільшення стійкості ВОС на розірвання. У найпростішому випадку це одношарове полімерне покриття, наприклад поліетилен, нейлон із зовнішнім діаметром 0,5...1 мм. Краще ці функції виконує двошарове покриття: внутрішній м'який прошарок, наприклад із силіконової гуми, товщиною 50-150 мкм захищає ВОС як від поперечних так і від подовжніх напруг, зовнішній жорсткий прошарок із зовнішнім діаметром 0,5-1 мм сприймає всі зовнішні посилення діючі на світловод. Підходящим матеріалом є нейлон. Альтернативою служить трубчаста конструкція покриття. Трубка (Т) повинна мати гладкі стінки, малу усадку при старінні при високому модулі пружності. Цими властивостями володіє, наприклад, трубка з поліпропілену. Простір між Т та ВОС, покритим лаком може бути заповнений повітрям, але кращі результати дає заповнення гелем. Така конструкція більш вібростійка і захищає від вологи.

Типи світловодів. Світловоди бувають багатомодові східчасті, багатомодові градієнтні, одномодові, кварц полімерні і полімерні.

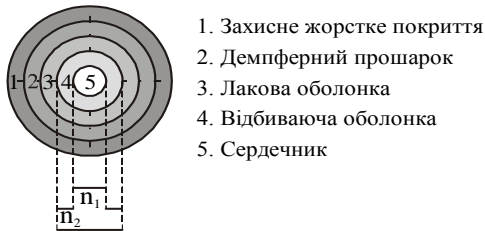


Рисунок 1.14 - Багатомодовий світловод із східчастим ППЗ

Багатомодовий ВОС із східчастим профілем показника заломлення (рис. 1.14) з великим діаметром серцевини (50...62,5 мкм) і апертурою $N_A = 0,2 - 0,3$ можна ефективно з'єднувати з ДВ, подібним до світловіпромінюючого діоду (СД) із ламбертовським розподілом вихідного випромінювання. Він зручний для створення коротких, відносно дешевих ліній. Серцевина і оболонки виготовляються з

високоякісних матеріалів для усунення втрат внаслідок домішкового поглинання. Зовнішній лаковий прошарок перешкоджає контакту з навколишнім зовнішнім середовищем. Демпферний прошарок приймає на себе зовнішні навантаження, розвантажуючи ВОС. Захисне жорстке покриття перешкоджає деформації ОВ. ПЗ серцевини і оболонки: $n_1 = 1,46$; $n_2 = 1,458$.

Багатомодовий градієнтний світловод має серцевину з градієнтним профілем показника заломлення. Призначений для передачі ширококугової інформації. На середні відстані показники заломлення оболонки та серцевини: $n_{\text{вн}} = 1,47$; $n_{\text{зовн}} = 1,45$.

Одномодовий світловод має граничну ширину смуги частот і чітко обумовленими характеристиками розподілу. Він ідеально підходить для передачі великих обсягів інформації на великі відстані.

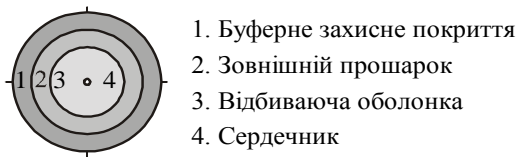


Рисунок 1.15 - Одномодовий ВОС

Типова структура показана на рисунку 1.15 і складається із серцевини, оболонки, зовнішнього прошарку і буферного і захисного покриття. Серцевина і оболонка зі надчистого скла. Зовнішній прошарок виконується також із скла, але не настільки високої якості. Його призначення - збільшення зовнішнього діаметра, щоб із ним воно було більш жорстким і могло протистояти вигинам. Товщина оболонки повинна приблизно в 10 разів перевищувати радіус серцевини. Так як поле проникає на значну глибину із серцевини в оболонку, то одномодові світловоди мають апертуру в межах $N_A=0,1$.

Світловод із пластиковою оболонкою (кварц-полімер) являє собою багатомодовий ВОС із східчастим профілем показника заломлення. Складається зі скляної серцевини і пластикової оболонки, має серцевину великого діаметра, відносно велику апертуру. Типова структура вказана на рисунку 1.16. Для пластикової оболонки використовують силіконову гуму.



Рисунок 1.16 - ВОС із полімерною оболонкою

Ці світловоди потребують нанесення захисного пластикового покриття. Цей світловод дешевше багатомодового світловоду зі східчастим профілем показника заломлення. ВОС з чистого кварцового скла з пластиковою оболонкою характеризуються меншими втратами на випромінювання і тому придатні для застосування в спеціалізованих системах, де втрати на випромінювання грають важливу роль. Діаметри світловодної жили – 100... 600 мкм і більш при $N_A=0,3$ і смуга частот ≈ 200 МГц x км. З'єднання таких ОС утруднено через м'якість оболонок і труднощі витримування механічних допусків. Для втрат на рівні 1дБ точність допусків має бути в межах $\pm 10\%$.

Полімерний світловод- багатомодовий світловод із східчастим профілем показника заломлення, що має набагато більші втрати, але не потребує особливих запобіжних заходів при його вживанні. Його зручно використовувати в дуже коротких лініях і недорогих лініях. Структура має вид, зображений на рисунку 1.17 полімерний світловод із гарними властивостями виготовляють із поліметілметакрилата і його полімерів.



а) серцевина з захисною оболонкою, б) світловод без додаткових захисних прошарків

Рисунок 1.17 - Полімерний ВОС

Механічні властивості полімеру дозволяють застосовувати світловод без додаткових захисних прошарків. Ці світловоди мають великі загасання - типові 400 дБ/км. Кращі зразки - 80дБ/км. Основна властивість - висока радіаційна стійкість.

Волоконно-оптичні джгути і стрічки (патч-корд) - набір із великої кількості світловодів, зібраних у регулярні джгути, діаметром від 1 мм до 100 мм із скріпленими епоксидною смолою торцями, що піддаються поліруванню і захистом лактановою оболонкою. Призначені для передачі світла, зображення, кодування інформації, розгортки або пакунка світлового зображення і т.д. Різновид джгутів - волоконно-оптичні пластини та стовпчики.

Оптичні характеристики. При передачі світлового імпульсу по світловоду виникає його загасання, а також уширення або дисперсія переданих імпульсів. Передача світлового імпульсу по ВОС характеризують три параметри: загасання, дисперсія, час пробігу.

Загасання. При розповсюдженні світла через ОВ його амплітуда зменшується, Це явище має назву загасання. Чим менше загасання (утрати) і чим менше дисперсія, тим більше може бути відстань між регенераційними ділянками або повторювачами. На загасання світла у волокні впливають такі фактори, як втрати на поглинання α_n , втрати на розсіювання α_p , кабельні втрати α_k . Втрати на поглинання α_n і на розсіюванні α_p разом називають власними втратами α_e , у той час як кабельні втрати в силу їх природи називають додатковими втратами.

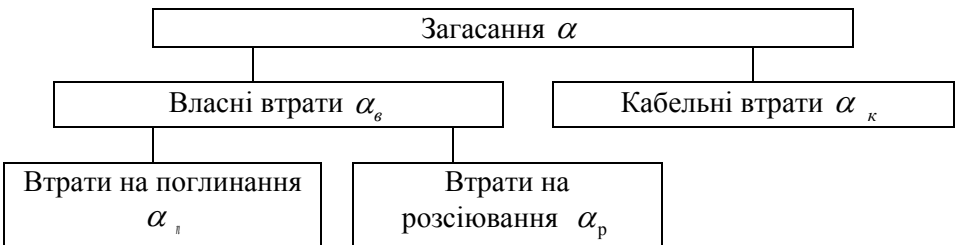


Рисунок 1.18 - Основні типи втрат у волокні

Сумарні втрати α визначаються по формулі (1.5), що складаються з кількох складових:

$$\alpha = \alpha_g + \alpha_k = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_k \quad (1.5)$$

Втрати на поглинанні α_n складаються як із власних втрат у кварцовому склі: ультрафіолетове (УФ) і інфрачервоне (ІЧ) поглинання і з втрат, пов'язаних із поглинанням світла на домішках. Центри домішок, у залежності від типу домішки, поглинають світло на визначених (властивій даної домішки) довжинах хвиль і розсіюють поглинену світлову енергію у виді джоулевого тепла. Навіть незначні концентрації домішок призводять до появи піків на кривій втрат. Слід зазначити характерний максимум у районі довжини хвилі 1480 нм, що відповідає домішкам ОН. Цей пік є присутнім завжди. Область спектра в районі цього піка через великі втрати практично не використовується. Власні втрати на поглинанні ростуть і стають значимими в УФ і ІЧ областях. При довжині хвилі випромінювання понад 1.6 мкм звичайне кварцове скло стає непрозорим через ріст втрат, пов'язаних з ІЧ поглинанням.

Втрати на розсіюванні α_p . Вже до 1970 року виготовлене ОВ стає настільки чистим (99,9999%), що наявність домішок перестає бути головним чинником загасання у волокні. На довжині хвилі $\lambda = 800$ нм загасання складає $\alpha = 1,5$ дБ/км. Подальшому зменшенню загасання перешкоджає так зване релесевське розсіювання світла. (викликане наявністю неоднорідностей мікроскопічного масштабу у ОВ). Світло, попадаючи на такі неоднорідності, розсіюється в різних напрямках. У результаті частина його губиться на оболонці. Ці неоднорідності з'являються під час виготовлення ОВ. Втрати на релесевському розсіюванні залежать від довжини хвилі за законом λ^{-4} і більш виявляються в області коротких довжин хвиль.

Розсіювання обумовлене неоднорідностями матеріалу ВОС (розміри котрих менше довжини хвилі) і тепловою флуктуацією ПЗ п. Втрати на розсіюванні визначаються формулою:

$$\alpha_p = \frac{8 \cdot \pi^2}{3 \cdot \lambda^4} \cdot (n^2 - 1) \cdot K \cdot T \cdot \sigma, \quad (1.6)$$

де K - постійна Больцмана, T - температура переходу, σ - стискальність, n – ПЗ, λ_i - довжина хвилі випромінювання.

Втрати енергії істотно зростають через наявність у матеріалі ВОС постійних домішок $\alpha_{пр}$, таких як гідроксильні групи ОН, наявність іонів металів і інших включень. У області резонансів власних коливань іонів домішок звичайно є сплески ослаблення. Через іони гідроксильних груп часто відбувається сплеск ослаблення на хвилі 0,95 мкм та 1,48 мкм. Залежність загасання волоконного світловода від довжини хвилі відображена на рисунку 1.19.

З рисунка очевидно, що α_n та α_p із ростом λ зменшуються, а через домішки є істотні резонансні сплески ослаблення на хвилях 0,95 і 1,4 мкм за рахунок гідроксильних груп і інших включень. При цьому чисто кварцові світловоди мають набагато менші домішкові втрати, чим силікатні (багатокомпонентні) світловоди. На малюнку виділені також три вікна прозорості світловода з малим ослабленням у діапазоні довжин хвиль 0,8...0,9; 1,2...1,3; 1,5...1,6 мкм. У цих діапазонах із збільшенням довжини хвилі ослаблення істотно зменшується. Так, при $\lambda=0,85$ мкм маємо $\alpha=1,5$ дБ/км; при $\lambda=1,3$ мкм відповідно $\alpha=0,4$ дБ/км; при $\lambda=1,55$ мкм - $\alpha=0,2$ дБ/км і менше.

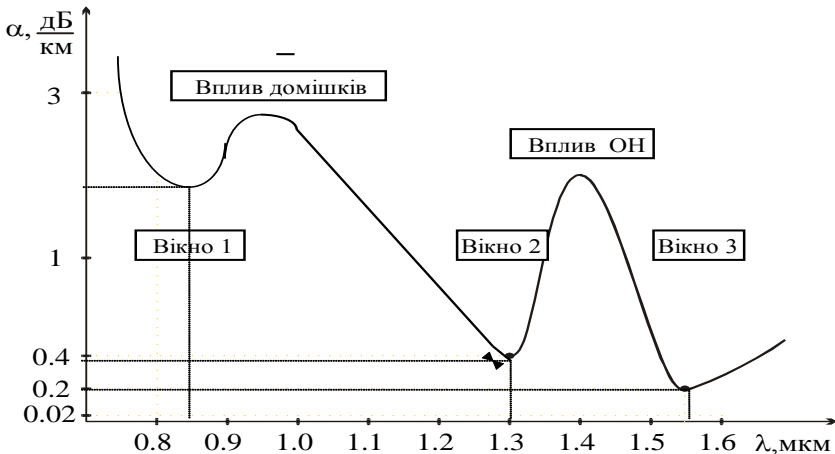


Рисунок 1.19 - Залежність загасання ВОС від довжини хвилі

У зв'язку з цим, перше покоління ВОЛС використовувало довжину хвилі 0,85 мкм, друге покоління ВОЛС розроблялося на довжині хвилі 1,3 мкм, а третє покоління використовує довжину хвилі

1,55 мкм. У останньому випадку вдається довести довжину регенераційної ділянки до 100...1000 км і більше та виключити з оптичного каналу мідні жили для дистанційного електроживлення лінійних регенераторів і скоротити число регенераторів. Експериментально проробляється можливість використання діапазону довжин хвиль 2-3 мкм і більш і вже освоюються 4 і 5 вікна прозорості.

Дисперсія і смуга пропускання. По ОВ передається не просто світлова енергія, але також корисний інформаційний сигнал. Імпульси світла, послідовність яких визначає інформаційний потік, у процесі поширення розпливаються, що дає неможливим їх виділення при прийомі. Дисперсія (розширення імпульсів) має розмірність часу і визначається як квадратична різниця тривалостей імпульсів на виході і вході кабелю довжини L по формулі:

$$\tau(L) = \sqrt{t_{вих}^2 - t_{вх}^2}. \quad (1.7)$$

Дисперсія нормується в розрахунку на 1 км і вимірюється в пс/км і в загальному випадку характеризується трьома основними чинниками (рис.1.20):

- розходженням швидкості поширення спрямованих мод (міжмодова дисперсія $\tau_{мод}$);
- направляючими властивостями світловодної структури (хвильоводна дисперсія τ_x);
- властивостями матеріалу оптичного волокна (матеріальна дисперсія τ_m).



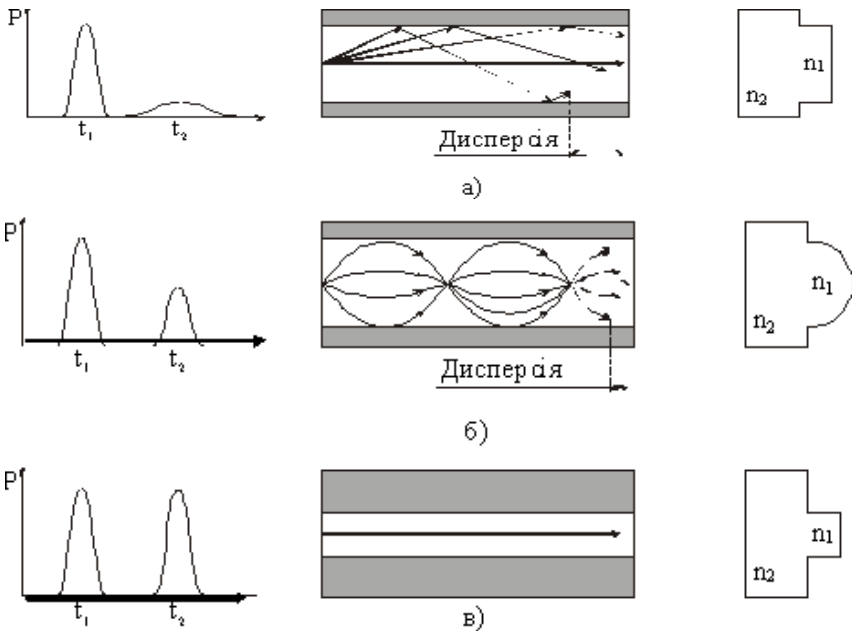
Рисунок 1.20 - Види дисперсії

Чим менше дисперсія, тим більший потік інформації можна передати по ВОС. Результуюча дисперсія τ визначається з формули:

$$\tau^2 = \tau_{\text{мод}}^2 + \tau_x^2 = \tau_{\text{мод}}^2 + (\tau_m + \tau_x)^2 \quad (1.8)$$

Поширення світла по різних типах волокон. На рисунку 1.21 показано поширення світла по різним типам ВОС, що призводить до виникнення дисперсії і розмиття форми імпульсів

Довжина хвилі відсічки (cutoff wavelength). Мінімальна довжина хвилі, при якій волокно підтримує тільки одну поширюючу моду, називається довжиною хвилі відсічки. Цей параметр характерний для одномодового волокна. Якщо робоча довжина хвилі менше довжини хвилі відсічки, то має місце багатомодовий режим поширення світла. У цьому випадку з'являється додаткове джерело дисперсії - міжмодова дисперсія, яка веде до зменшення смуги пропускання волокна.



а) багатомодове сідчасте ВОС; б) багатомодове градієнтне ВОС; в) одномодове сідчасте ВОС

Рисунок 1.21 - Поширення світла у різних ВОС

Дисперсія виникає за двома причинами:

– некогерентність джерел випромінювання, яка зветься хроматичною або частотною, вона ділиться на два види - матеріальну і хвильоводну або внутримодову. Вона обумовлена залежністю ПЗ від довжини хвилі, хвильоводна дисперсія обумовлена направляючими властивостями матеріалу ВОС від довжини хвилі;

– наявністю великої кількості мод, кожна з яких поширюється зі своєю швидкістю, для багатомодового ВОС із $\Delta n = n_1 - n_2 = 0,015$, який має більш 800 мод, різниця часу їх поширення складає 60 нс після проходження через волокно довжиною 1 км.

Пропускна спроможність ВОС істотно залежить від типу їх властивостей (одномодових, багатомодових і градієнтних), а також від типу випромінювача (лазер або СД).

Міжмодова дисперсія. Міжмодова дисперсія виникає внаслідок різноманітної швидкості поширення мод, і має місце тільки в багатомодовому ОВ. На практиці, особливо при описі багатомодового волокна, частіше користуються терміном смуга пропускання. При розрахунку смуги пропускання W можна скористатися формулою:

$$W = \frac{440}{\tau} \text{ МГц}, \quad \text{де } \tau \text{ береться в нс.} \quad (1.9)$$

Вимірюється смуга пропускання в МГц км. З визначення смуги пропускання очевидно, що дисперсія накладає обмеження на дальність передачі і верхньої частоти переданих сигналів. Фізичний зміст W - це максимальна частота модуляції переданого сигналу при довжині лінії 1 км. Якщо дисперсія лінійно росте з ростом відстані, то смуга пропускання залежить від відстані обернуто пропорційно.

Хроматична дисперсія. Хроматична дисперсія складається з матеріальної і хвильоводної складових і має місце при поширенні як в одномодовому, так і в багатомодовому волокні. Проте найбільше чітко вона виявляється в одномодовому волокні через відсутність міжмодової дисперсії.

Матеріальна дисперсія обумовлена залежністю показника заломлення волокна від довжини хвилі:

$$\tau_{\text{мат}}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} = \Delta\lambda \cdot L \cdot M(\lambda), \quad (1.10)$$

Хвильоводна дисперсія обумовлена залежністю коефіцієнта поширення моди від довжини хвилі:

$$\tau_{\text{мат}}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot \frac{2}{c} \cdot \frac{n_1^2}{\lambda} = \Delta\lambda \cdot L \cdot N(\lambda), \quad (1.11)$$

де L - довжина волокна, λ - довжина хвилі, c - швидкість світла, n_1 - ПЗ серцевини, $M(\lambda)$ - питома матеріальна дисперсія, $N(\lambda)$ – питома хвильоводна дисперсія, $\Delta\lambda$ (нм) - поширення довжини хвилі внаслідок некогерентності джерела випромінювання.

Результуюче значення коефіцієнта питомої хроматичної дисперсії визначається як:

$$D(\lambda) = M(\lambda) + N(\lambda) \quad (1.12)$$

Питома дисперсія має розмірність $\left[\frac{нс}{нм \cdot км} \right]$. Якщо коефіцієнт хвильоводної дисперсії завжди більше нуля, то коефіцієнт матеріальної дисперсії може бути як позитивним так і негативним. І тут важливим є те, що при визначеній довжині хвилі (приблизно $1310 \pm 10\%$ нм для ступінчастого одномодового волокна) відбувається взаємна компенсація $M(\lambda)$ і $N(\lambda)$, а результуюча дисперсія $D(\lambda)$ обертається в нуль. Довжина хвилі λ , при якій це відбувається, називається *довжиною хвилі нульової дисперсії* λ_0 . Для зменшення хроматичної дисперсії використовуються когерентні джерела випромінювання, наприклад з вузькою шириною спектра випромінювання - лазерні передавачі ($\Delta\lambda = 2\text{нм}$) і довжини хвилі близькі до довжин хвилі нульової дисперсії.

Для того, щоб при передачі сигналу зберігалася його прийнятна якість (співвідношення сигнал/шум було не нижче визначеного значення) необхідно, щоб смуга пропускання волокна на довжині хвилі передачі перевершувала частоту модуляції.

Приклад 1. *Ethernet* для багатомодового волокна. Оптичний інтерфейс Base-FL припускає (код Манчестер) з частотою модуляції 20 МГц. При використанні ВОС із $\Delta\lambda=35\text{нм}$ ($\lambda = 850\text{нм}$) питома смуга пропускання для волокна 50/125 складе 125 МГц/км і при довжині оптичного сегменту 4км буде 31МГц, що більше 20МГц*.

Приклад 2. *FDDI* для багатомодового волокна. Оптичний інтерфейс FDDI PMD припускає кодування коду 4В/5В із частотою модуляції 125 МГц. При використанні світлодіодів із $\Delta\lambda=35\text{ нм}$ ($\lambda = 1310\text{ нм}$) питома смуга пропускання для волокна 62,5/125 складає 450 МГц км і при довжині оптичного сегмента 2км буде 225МГц, що більше 125МГц.

Числова апертура. Ефект повного внутрішнього відбитка використовується в оптичних світловодах за рахунок того, що в середині світловода є «скляна серцевина» із показником заломлення n_1 і навколо її «скляна оболонка» із показником заломлення n_2 , при цьому n_1 більше n_2 (рис.1.22). Повний внутрішній відбиток у ОВ має місце доти, поки введені у світловод промені падають на його торець під кутом Θ і заломлюються під кутом більш $(90^\circ - \alpha_0)$, критичним кутом. Для α_0 має місце таке відношення:

$$\text{Sin } \alpha_0 = \frac{n_1}{n_2}, \quad (1.13)$$

тобто критичний кут залежить від відношення показників заломлення n_1 і n_2 . З формули 1.13 випливає, що промені, які відхиляються від осі ОВ на кут не більш $(90^\circ - \alpha_0)$, поширюються в серцевині.

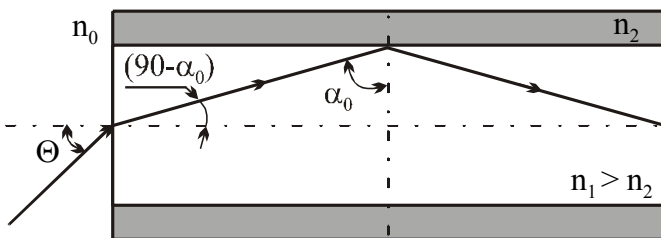


Рисунок 1.22 - Поширення світла у ВОС

Для того, щоб увести світло зовні у середину (повітря з показником заломлення $n_0 = 1$), кут запровадження між променем і віссю світловоду можна визначити відповідно до закону заломлення:

$$\frac{\text{Sin}\Theta}{\text{Sin}(90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{n_0} \quad (1.14)$$

отже,

$$\text{Sin}\Theta = n_1 \cdot (\text{Cos}90^\circ - \alpha_0) = n_1 \cdot \text{Cos}\alpha_0 = n_1 \cdot \sqrt{1 - \text{Sin}^2(\alpha_0)} \quad (1.15)$$

З урахуванням вимоги відносно критичного кута $\text{Sin}\alpha_0 = n_2 / n_1$ результат буде таким:

$$\text{Sin}\Theta = n_1 \cdot \sqrt{1 - \text{Sin}^2\alpha_0} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.16)$$

Максимально можливий кут променів на торець ВОС Θ_{\max} називається *вхідною кутовою апертурою*. Вона залежить тільки від двох показників заломлення n_1 і n_2 . Синус вхідної кутової апертури називається *числовою апертурою* N_A ВОС:

$$NA = \text{Sin}\Theta_{\max} \quad (1.17)$$

Цей розмір дуже важливий для запровадження світла у волоконний світловод. Отже, ОВ пропускає світло, яке уведене у рамках обмеженого тілесного кута, розмір якого залежить від показників заломлення: матеріалу серцевини n_1 , оболонки n_2 і середовища навколо з n_0 . Числова апертура світловоду залежить від показників заломлення, визначається типом і концентрацією легуючих добавок, для котрих використовуються оксиди германію, бору, фосфору, титану і алюмінію. Градієнтні світловоди мають $N_A = 0,2$. Світловоди з великою числовою апертурою мають великі втрати, але їх легше виготовляти і вони дешевше. Збільшення різниці між показником переломлення серцевини і оболонки покращує

ефективність запровадження випромінювання у ВОС, але в той же час призводить до збільшення міжмодової дисперсії - розширенню імпульсу. У ВОС із малою числовою апертурою менше дисперсія імпульсу, але більше втрати на мікрозгибах.

1.2 Завдання до роботи

Перед початком роботи ознайомитись з завданням на роботу:

- вивчити устрій ВОС і принципи поширення оптичного випромінювання по ньому у залежності від профілю ПЗ.
- вивчити основні характеристики ВОС:
 - 1) число і структура мод, що поширюються в ОВ;
 - 2) профіль ПЗ;
 - 3) числова апертура, її фізична сутність;
 - 4) геометричні розміри серцевини і оболонки;
 - 5) оптичні характеристики: загасання і розширення імпульсів;
 - 6) вивчити устрій запропонованих екземплярів кварцових, кварц-полімерних і полімерних ВОС, їх геометричні особливості, зарисувати, описати і обміряти їх розміри, зробити висновки.

1.3 Контрольні питання

1. Що таке світловод і на якому принципі по ньому передається електромагнітна енергія.
2. Устрій ВОС для передачі оптичної інформації.
3. Що таке мода? Число і структура мод, що поширюються, у різноманітних типах ВОС.
4. Направляемі, оболончні і витікаючі моди.
5. Одномодові і багатомодові, східчасті і градієнтні ВОС.
6. Профіль показника заломлення в різноманітних типах ВОС.
7. Геометричні розміри ВОС в залежності від їхнього типу.
8. Конструкція ВОС.
9. Числова апертура ВОС, її фізична сутність.
10. Загасання, її фізична сутність, основні параметри.
11. Дисперсія, її фізична сутність, основні параметри.

1.4 Матеріали, інструмент, обладнання

У практичній роботі використовуються такі типи ВОС:

- ВОС із кварцовою світловедучою жилою і кварцовою оболонкою, що відбиває світло, розміром 50/125 мкм покритий лаковою захисною оболонкою. Виробник: ВАТ «Одескабель»;

- ВОС із кварцовою світловедучою жилою і світловідбиваючою оболонкою фірми CORNING. Характеристики: SMF - LS. Одномодове ОВ з ненульовою усунутою дисперсією, діаметр модової плями 8,4 мкм, діаметр відбиваючої світло оболонки $125 \pm 10\%$ мкм. Діаметр покриття типу CPC6 $245 \pm 10\%$ мкм. Неконцентричність: покриття < 12 мкм; серцевини і оболонки ≤ 1 мкм. Неокруглість оболонки $< 1,0\%$;

- кварц-полімерне ОВ, діаметр світловедучої жили 200 мкм;
- кварц-полімерне ОВ, діаметр світловедучої жили 400 мкм;
- полімерне ОВ (оптичні шнури) різних діаметрів;
- пристрій для зняття захисної оболонки;
- мікроскоп (або мікрометр).

1.5 Техніка безпеки

Дотримуйтесь техніки безпеки:

- запобігати попадання відрізків ОВ (які виникають під час роботи з ними) на одяг та на шкіру;

- під час роботи з ОВ забороняється приймання їжі, а після завершення роботи необхідно вимити руки з милом;

- треба передбачати, що розчинювачі, які можуть використовуватися при віддаленні захисних оболонок є вогнебезпечні і горять безцвітним пламінням, можуть бути токсичними і викликати алергічну реакцію.

1.6 Порядок проведення роботи

Етапи виконання роботи:

- ознайомитися з типами ВОС, які використані в роботі.
- ознайомитися з інструментом і матеріалами, які використовуються в роботі:

- 1) мікрометром або мікроскоп;
- 2) пристосуваннями і матеріалами для зняття оболонок ВОС;
 - хімічним (механічним) шляхом зняти захисні оболонки;
 - замірити діаметр ВОС у захисних оболонках і світловоду після зняття оболонок;
 - підсвітити один кінець кожного із світловодів і замірити під мікроскопом (приблизно) діаметр ведучої світло жили за допомогою виміральної сітки;
 - намалювати конструкцію кожного зі світловодів і завдати на малюнки отримані розміри і позначити типи досліджуваних ВОС.

1.7 Зміст звіту

Оформлений звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- назву роботи;
- теоретичні відомості;
- результати дослідження, рисунок ОВ, розміри, опис типу ОВ, відповіді на запитання пункту 1.10 (1-12 по варіантах, завданих викладачем);
- висновки.

2 ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Волоконно-оптичні кабелі

Мета роботи - ознайомлення з найбільш важливими характеристиками і конструктивними особливостями деяких видів волоконно-оптичних кабелів (ВОК). ПР повинна дати уяву про склад, властивості і основні елементи ВОК, засвоїти специфіку питань, пов'язаних з ними, вміти ставити вимоги до їх розробки, підбору і застосування. Основними цілями ПР є:

- ознайомлення з основними конструкціями і типами ВОК;
- придбання практичних навичок роботи і контролю при знятті захисних оболонок ВОК, замір і класифікація типу волоконно-оптичних світловодів (ВОС) або оптичних волокон (ОВ).

2.1 Загальні відомості

Елементи ВОК. ВОК - пристрій, який складається з ВОС та елементів, які їх захищають, зміцнюють і заповнюють ВОК. Це оформлено в конструкцію для заданих умов експлуатації, яка захищає ВОС від зовнішніх впливів і призначена для обмеження області поширення оптичних коливань назовні і передачі потоку світлової енергії виключно в заданому напрямку ОВ. При необхідності ВОК може мати струмопровідні металеві жили для передачі електроживлення. До основних елементів ВОК відносяться наступні елементи.

ВОС - це компоненти ВОК, які складаються зі скляних або полімерних ОВ.

Зміцнюючі елементи - нитки СВМ (синтетичний високомодульний матеріал) різних номерів, які або розміщуються в полімерній трубці оптичного модуля, або покриваються полівінілхлоридною оболонкою (тоді цей елемент називається або силовим, або заповнюючим). Кількість і номер ниток СВМ визначається вимогами на розтягування, що пред'являються до ВОК.

Заповнюючі елементи - бавовняні нитки різних номерів для демпфування ОВ в конструкції ВОК.

Полімерні матеріали - різні синтетичні матеріали, які використовуються як внутрішні покриття окремих елементів і як

зовнішні покриття ВОК в цілому. До них відносяться такі матеріали, як поліамід, фторопласт, поліетилен, полівінілхлорид, пінопласт і ін.

Металеві елементи - це або мідні (як правило, одножильні) провідники, кількість яких визначається вимогами до ВОК, або сталевий дріт у вигляді джгутів або екранів різних типів, розмішених або усередині ВОК, або поверх полімерної захисної оболонки.

Поділ ВОК по застосуванню. Існуючі ВОК складаються з перерахованих основних компонентів, розділяють на монтажні, об'єктові, міські, зонові, магістральні.

Монтажні - застосовуються для виробництва внутрішньоблочних і міжблочних з'єднань в електронних обчислювальних машинах (ЕОМ) і іншій апаратурі: довжина - 0,5...5 м; коефіцієнт загасання $\leq 100 \dots 200$ дБ/км; смуга частот - 50 МГц·км; тип волокна «кварц-кварц» - «кварц-полімер», (всі із східчастим профілем переломлення); число волокон - будь-яке, що визначається комунікаційними вимогами; діапазон температур - 60...70 °С; радіус вигину -5 діаметрів кабелю; кут вигину -360°; радіальний тиск -0,1...0,2 МПа.

Об'єктові - застосовуються для побудови комунікацій усередині різних об'єктів (заводів, фабрик, установ, літаків, кораблів і інших): довжина - сотні метрів; коефіцієнт загасання $< 30 \dots 50$ дБ/км; смуга частот - сотні МГц·км; число ОБ будь-яке, визначається конкретними умовами роботи; розтягуючі зусилля - $< 1000 \dots 2000$ Н; кліматичні і механічні вимоги аналогічні монтажним кабелям.

Міські, зонові - застосовуються для організації зв'язку усередині міст, районів, областей: довжина - 200...300 км; ділянка ретрансляції - 30 км (з перспективою збільшення до 50...100 км); коефіцієнт загасання < 5 дБ/км на довжині хвилі 0,85 мкм; смуга пропускання-1000 МГц·км; число перемотувань - < 400 , у тому числі і при -50 °С з натягненням на кут $\pm 90^\circ$; число осьових закручувань - $< 50 \dots 100$ на кут 360°, зокрема, при -10...-20 °С з натягненням.

Магістральні - застосовуються для організації зв'язку на великих територіях - усередині республік і між ними: довжина ≥ 2500 км; ділянка ретрансляції - 50...100 км; будівельна довжина - 1-4 км; коефіцієнт загасання - $< 0,5$ дБ/км на довжині хвилі 1,3 мкм, 0,2 дБ/км на довжині хвилі 1,55 мкм; смуга пропускання - декілька ГГц·км; число волокон - 8 і більше; розтягуюче зусилля - декілька тисяч ньютонів;

роздавлюючі зусилля - 0,5...1 МПа; кліматичні умови, а також умови перемотувань, перегинів і осьових закручувань аналогічні міським кабелям.

Вимоги до ВОК. При конструюванні ВОК виходять з того, що повинна забезпечуватись працездатність волоконних світлодіодів при обумовлених зовнішніх діях і в заданих умовах експлуатації [1]. Це пред'являє до конструкції кабелів наступні вимоги: захист від зовнішнього механічного, кліматичного і іншого виду дій; міцність на розрив або захист ОВ від обривів при розтягуванні; стабільність оптичних характеристик ВОК; простота експлуатації і поточного ремонту ВОК, тобто заміна пошкоджених ділянок кабелю новими; дешевизна; технологічність (простота) виготовлення і велика будівельна довжина. Конструкція повинна забезпечувати захист ОВ від різних зовнішніх дій за допомогою використання силових елементів, скручування ОВ навколо серцевини і накладання різноманітних полімерних оболонок. Крім того, конструкція ВОК повинна забезпечувати цілісність його полімерних оболонок, зміцнюючих ниток і інших елементів. У зв'язку з цим розглянемо основні принципи конструювання ВОК.

Захист фізичної стійкості ВОК. В процесі експлуатації ВОК випробовує на собі подовжні розтягуючі, поперечні роздавлюючі навантаження, а також вигини різного радіусу і на різні кути. При цих діях ОВ повинні не тільки залишатися цілими, але і не давати приросту коефіцієнта загасання. З цією метою у ВОК використовують різні зміцнюючі і силові елементи, що оберігають ОВ від руйнування при різних навантаженнях. Силові елементи звичайно розміщуються в центрі ВОК, хоча можливе розміщення їх і по периферії. Для захисту від навантажень, які роздавлюють ВОК, їх поміщають в жорстку трубчасту захісну оболонку (ТЗО) з полімерного матеріалу або в пази фігурного серцевини. Крім того, від зусиль такого типу ОВ захищають заповнюючі елементи і зовнішні полімерні оболонки. Щоб ОВ зберігали свої характеристики при вигинах ВОК, їх скручують навколо центрального силового елемента (окрім одноволонних і двоволонних кабелів, ОВ яких вільно укладені в одній трубці). Скрутка ОВ створює в ОВ умови рівномірного розтягування всіх волокон багатоволонного ОК при його вигині.

Захист від статичного руйнування. Цей вид руйнування обумовлений наявністю у волокні мікротріщин і розвитком їх під дією

різних зовнішніх зусиль. Основна роль в розвитку мікротріщин належить волозі і підвищеній температурі. Тому захисту волокна в кабелі від вологи надається велике значення. З цією метою волокно покривають захисною поліамідною оболонкою, використовують захисні полімерні оболонки у ВОК, а також заповнюють ВОК водонепроникними наповнювачами -герметиками, гелями. Іноді ВОК герметизують за допомогою екструдированного шару алюмінію на його поверхні або обмотують металевою стрічкою, при цьому проникнення вологи до ОВ значно менше, ніж через захисні полімерні оболонки. Проте наявність в конструкції ВОК металевих елементів різко звужує область їх застосування.

Захист від появи мікрОВигинів. МікрОВигини ВОС, тобто вигини з малими просторовими амплітудами і періодами, які виникають на різних ділянках ВОЛЗ при різних зовнішніх виробничих і експлуатаційних діях, є причиною зростання загасання оптичного сигналу у ВОК. Основними причинами появи мікрОВигинів ОВ є нерівномірні усадки полімерних матеріалів, що входять в конструкцію ВОК. Для того, щоб захисний прошарок поліаміду при усадці в процесі охолодження, не деформував волокно, між цим покриттям і волокном поміщають підшарок м'якої силіконової гуми завтовшки 3–5 мкм. В цьому випадку поліамідне покриття при усадці ковзає на силіконовій гумі, не приводячи до деформації волокна. Крім того, ОВ звичайно поміщають в полімерну жорстку трубку (звично фторопластову), де він лежить вільно і не піддається деформації.

Збереження передавальних характеристик ВОС. Це завдання для ВОС при розміщенні його у ВОК розв'язується оптимальним вибором матеріалів, їх товщини і зазорів між ОВ і елементами ВОК, а також пошуком оптимальної конструкції ВОК.

Вибір кількості ВОС у ВОК. Цей показник визначається рядом чинників. Це і необхідність передавати задане число просторово-розділених сигналів, і резервування та дублювання каналів для підвищення надійності зв'язку, а також умови прокладання і експлуатації ВОК.

Типи ВОК. ВОК можна розділити на такі типи:

– з паралельно укладеними ОВ - до них відносяться одноволоконні ВОК і кабелі з невеликим числом ОВ (не більше 4), вільно укладені в жорстку трубчасту захисну оболонку (ТЗО);

– **зі скрученими волокнами** - до них відносяться ВОК з числом волокон два і більше; ОВ в таких ВОК скручені пошарово, тобто в першому від серцевини шарі ОВ скручені в одну сторону, в другому - в іншу і т. д.; в таких ВОК волокна в шарах чергуються із заповнюючими і силовими елементами;

– **стрічкові (пласкі)** - це ВОК з пошарово укладеними ОВ, що створюють прямокутну або квадратну матрицю.

Устрій ВОК. Наведемо основні конструкції ВОК:

а) конструкція з двома ОВ, вільно укладеними в трубку (рис.2.1а): 1 - ОВ; 2 - захисна трубка оптичного модуля ТЗО з полімерного матеріалу (фторопласту) із зовнішнім діаметром 2,5 мм і завтовшки стінки 0,35 мм; 3 - зміцнюючі елементи; 4 - заповнюючі бавовняні нитки; 5 - полімерна оболонка - **двоволоконний ВОК**;

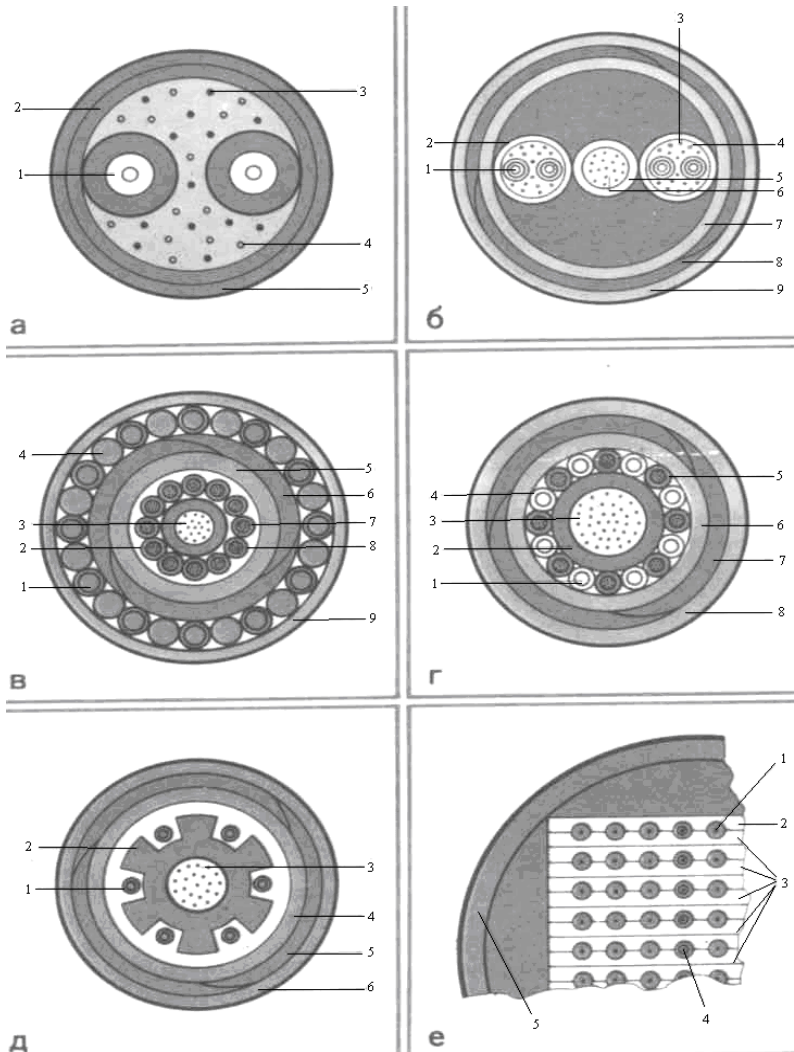
б) конструкція з чотирма ОВ, які вільно вкладено у двох трубках (два ОВ в кожній), причому трубки скручені навколо силового елемента (рис. 2.1б): 1 - ОВ; 2- захисна трубка; 3 - зміцнюючі елементи; 4 - бавовняні нитки для заповнення; 5 - полівінілхлоридна оболонка; 6 - зміцнюючі нитки; 7 - поліамідно-фторопластова скріпна стрічка; 8 - бавовняна скріпна нитка; 9 - полімерна оболонка - **багатоволоконні ВОК**;

в) конструкція із змішаним розташуванням силових елементів і з скрученими ОВ (рис.2.1в): 1 - ОВ; 2 - полівінілхлоридна оболонка; 3 - зміцнююча нитка; 4 - полівінілхлоридний елемент для заповнення; 5 - поліамідно-фторопластова скріпна стрічка; 6 - бавовняна скріпна нитка; 7 - демпфуючий повів; 8 - зміцнююча нитка; 9 - полімерна оболонка.

г) конструкція з ОВ, скрученими навколо центрального елемента (рис. 2.1г): 1 - ОВ; 2 - полівінілхлоридна оболонка; 3 - зміцнюючі нитки; 4 - полівінілхлоридний заповнюючий елемент; 5 - зміцнюючі нитки; 6 - поліамідна фторопластова скріпна стрічка; 7 - бавовняна скріпна нитка; 8 - полімерна оболонка.

д) конструкція з ОВ, укладеними в пази профільованого серцевини (рис.2.1д): 1 - ОВ; 2 - полівінілхлоридна оболонка; 3 - зміцнюючі нитки; 4 - поліамідно-фторопластова скріпна стрічка; 5 - бавовняна скріпна нитка; 6 - полімерна оболонка.

е) конструкція зі 144 ОВ, укладеними в матрицю 12×12 (рис.2.1е): 1 - ОВ; 2 - волоконна стрічка з 12 ОВ; 3 - волоконна матриця з 12 волоконних стрічок; 4 - силовий елемент; 5 - полімерні оболонки.



а – з двома ОВ, вільно укладеними в ТЗО; б – з чотирма ОВ, вільно укладеними в двох трубках по два ОВ в кожній; в – з периферійним і центральним розташуванням елементів; г – з ОВ, скрученими навколо центрального силового елемента; д – з ОВ, укладеними в пази профільованого сердечника; е – з ОВ, укладеними в матрицю 12×12

Рисунок 2.1 - Конструкції ВОК

Основні характеристики ВОК. Для оцінки експлуатаційних якостей ВОЛЗ, ВОСПІ найчастіше вимірюються наступні характеристики:

- коефіцієнт відбиття – відношення інтенсивності сигналу, який розповсюджується в лінії назад до інтенсивності сигналу, що розповсюджується вперед в даному перетині лінії;

- рівень сигналу – пікова і середня інтенсивності несучого випромінювання у ВОС в даному перетині лінії;

- втрати – різниця між потужностями переданого і прийнятого сигналів, що визначається загасанням в світловоді і різними втратами в пристроях введення, місцях зрощення, розгалужувачах і інших компонентах;

- розширення імпульса – зміна форми сигналу, викликана міжмодовою дисперсією і дисперсією матеріалу;

- відношення сигнал/шум – відношення інтенсивності корисного сигналу до сумарної інтенсивності шумів в каналі;

- теплостійкість – здатність системи з ВОК витримувати температурні флуктуації, тобто зберігати свої технічні характеристики в заданому інтервалі робочих температур;

- корозійна стійкість – здатність всіх матеріалів ВОК протистояти різним хімічним діям. Особливо дії вологи;

- механічна міцність – здатність ВОК витримувати розтягуючі, крутячі і стискуючі навантаження в динамічному і статичному режимах і протистояти ударам і вібраціям;

- радіаційна стійкість – здатність ВОК протистояти дії різних ядерних випромінювань, які викликають зміни загасання і дисперсії в ОВ.

Крім того, мають важливе значення стійкість ВОК до механічних (розтяг, вигін, поперечний тиск. Стійкість до ударів, ін.) і кліматичних впливів (температура, вологість, тиск, ін.).

Технологія виробництва ВОК. Процес виробництва ВОК можна розбити на наступні стадії.

Підготовка ОВ. ВОС в кабельне виробництво поступає в поліамідної оболонці, яка оберігає його від механічних дій (не виключено використання ОВ і в лаковій оболонці). Поліамідна захисна оболонка наноситься або за допомогою екструдера, або за допомогою електростатичного поля.

Виготовлення оптичного модуля. Волоконний світловод пропускають через прес, де він запресовується в трубку з вільним укладанням або обжиманням. Іноді для підвищення міцності на розтягування оптичного модуля всередину трубки поміщають нитки із синтетичних матеріалів (СМ), а для оберігання ОВ від подовжніх навантажень в трубці розміщують бавовняні нитки.

Виготовлення силового і заповнюючих елементів. Залежно від того, які вимоги пред'являються до ВОК по допустимих подовжніх і по поперечних навантаженнях, вибирають відповідне число ниток СМ і, пропускаючи через прес, укладають в полівінхлоридну оболонку. Якщо передбачається виготовляти одно-або двоволоконний кабель без скручування, то оптичний модуль разом з необхідною кількістю ниток СМ проходить зразу ж операцію ошлангування. Якщо оптичні модулі необхідно скручувати навколо силового елемента, то наступним є скручування, а потім ошлангування.

Скручування оптичних модулів. Скручування оптичних модулів, ниток СМ, заповнюючих елементів, бавовняних ниток навколо силового елемента можна виробляти на ліхтарних або крутильних машинах. Після скручування оптичних модулів і інших необхідних по конструкції елементів навколо силового елемента здійснюється операція фіксації скручування. Для цього одержаний напівфабрикат звичайно зразу покривається поліамідно-фторопластовою плівкою, причому кількість плівок береться 3...4, а швидкість скрутки – 1...50 м/хв.

Ошлангування ВОК. Екструзійна лінія для накладення оболонки на заготовку для ВОК принципово відрізняється від екструзійної лінії для накладення захисного покриття на волокно тільки тим, що має більший діаметр шнека. Швидкість ізолювання в межах 5–100 м/хв. Технологія виробництва ВОК по своїй структурі не відрізняється від виробництва традиційних кабелів з металевими дротами. Проте виробництво ВОК вимагає удосконалення технологічного процесу з метою забезпечення рівномірного проходження ОВ по технологічному ланцюжку без ривків і зупинок, жорстокої витримки всіх геометричних розмірів від початкового продукту (ОВ) до кінцевого (ВОК).

Економічний ефект від використання ВОК. З техніко-економічних розрахунків можна зробити висновок, що заміна міських ліній зв'язку довжиною, наприклад, 1 км на основі 600-парного кабелю

типу ТГ на ВОК в багатоволоконному численні завдовжки 10 км приведе до економії 4,5 тон міді і 8 тон свинцю. Інші переваги ВОК – широка смуга частот передачі інформації, неможливість впливати перешкодами на інформацію, яка передається, несприйнятливність до цілого ряду зовнішніх дій, малі маса і габаритні розміри, віднесені до одиниці об'єму інформації, укріплюють їх зростаючу роль в системах зв'язку.

2.2 Завдання до роботи

Перед початком роботи ознайомитись з завданням на роботу:

- вивчити класифікацію і призначення ВОК;
- ознайомлення з елементами ВОК;
- знати вимоги до ВОК;
- вивчити конструкції ВОК;
- знати основні функції, які виконуються конструктивними елементами ВОК по захисту ВОС від зовнішніх чинників;
- ознайомитися з основними характеристиками ВО;
- продумати порядок проведення ПР.

2.3 Контрольні питання

1. Для чого призначені ВОК?
2. З яких елементів складається ВОК?
3. Розподіл ВОК по застосуванню.
4. Вимоги до ВОК.
5. Основні типи і характеристики ВОК.
6. Підходи в конструкціях ВОК для захисту параметрів ВОС.

2.4 Матеріали, інструмент, обладнання

В представлених зразках ВОК обрати згідно варіанту (1 - 8).

1. Одно- (дво- , три- або чотирьохволоконний) монтажний ВОК без металевих струмоведучих дротів і броньованих оболонки.
2. Одно- (дво- , три- або чотирьохволоконний) монтажний ВОК зі струмоведучими дротами без броньованої оболонки.

3. Одно- (дво-, три- або чотирьохволоконний, ін.) міський ВОК без струмоведучих дротів з одним (двома) металевим зміцнюючим елементом в середині ВОК.

4. Одно- (дво-, три- або чотирьохволоконний, ін.) зоновий ВОК зі струмоведучими дротами, металевими зміцнюючими елементами і з кількома броньованими оболонками.

5. Одно- (дво-, три- або чотирьохволоконний, ін.) ВОК сільського зв'язку з кількома металевими зміцнюючими елементами, які розташовані зверху ВОК (так звана підвіска).

6. Багатоволоконний магістральний ВОК з кількома металевими захистними і броньованими оболонками.

7. ВОК у вигляді оптичних шнурів з пластику або ОВ зі скла (пігтейли) зі з'єднуачами або без них.

8. Пласкі (матричні) ВОК без металевих струмоведучих дротів і броньованих оболонок.

Інструменти: плоскогубці, скальпель (леза безпечної бритви), мікромметр (мікроскоп), лінійка, серветки, розчин для сняття лаку, ін..

2.5 Техніка безпеки

Дотримуйтесь техніки безпеки:

- запобігати попадання відрізків ОВ від ВОК (які виникають під час роботи з ними) на одяг та на шкіру;
- під час роботи з ОВ забороняється приймання їжі, а після завершення роботи необхідно вимити руки з милом.

2.6 Порядок проведення роботи

Етапи виконання роботи:

- ознайомитись з інструментом і матеріалами і конструкцією обраного ВОК;
- скласти план технологічних операцій для розбирання ВОК, ознайомлення з його конструкцією і замірюванням діаметру ВОК, захисних елементів, оболонок і ОВ;
- зробити розбирання ВОК (при необхідності);
- описати конструкцію, зробити рисунок ВОК і вказати його елементи;

– провести вимірювання діаметру ВОК, захисних елементів, оболонок і ОВ.

2.7 Зміст звіту

Оформлений звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- назву, мету і № ПР;
- теоретичну частину;
- рисунок ВОК, розміри його елементів і ОВ;
- опис матеріалів елементів ВОК;
- висновки по ПР.

3 ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Нероз'ємні з'єднання оптичних волокон

Мета роботи - вивчення методів нероз'ємного з'єднання оптичних волокон (ОВ) в оптичному кабелі (ОК), їх типів, вимірювання вносимих втрат (загасання) потужності оптичного випромінювання у з'єднаннях згідно існуючих методик.

3.1 Загальні відомості

Основні положення. При будівництві лінійно-кабельних споруд ВОСП, ВОЛЗ необхідні оптичні з'єднувачі для підключення обладнання кінцевих та проміжних станцій до ОК і з'єднання будівельних довжин ОК між собою. У першому випадку застосовують *рознімні оптичні*, а в другому - *нероз'ємні оптичні* з'єднувачі.

Основними технічними вимогами до оптичних з'єднувачів є наступні: малі загасання та відбивання потужності випромінювання, висока механічна міцність, нечутливість до впливу факторів оточуючого середовища, простота здійснення, мала ціна, можливість виконання в польових умовах. Для з'єднання ОВ потрібне прецизійне обладнання, яке дозволяє виконати роботи з великою точністю. Стандартні багатомодові кварцові ОВ мають малий діаметр світлонесучої серцевини - 50 мкм (многомодові ОВ) і 4-12мкм одномодові ОВ (діаметр світловідбиваючої оболонки до 125мкм).

Нероз'ємні з'єднання. Нероз'ємні оптичні з'єднувачі (splicer) служать для постійного з'єднання ОВ. Рознімні оптичні з'єднувачі (connectors) використовуються для багатократного з'єднання-роз'єднання ОВ. Основні методи з'єднання включають зварювання (сплавлення) торців двох волокон після співвісної їх фіксації в юстирувальному пристрої. Зрощування з'єднаних волокон можна забезпечувати також клейкою речовиною, механічним тиском або їх комбінацією.

З'єднання волокон за допомогою клею. Запропоновано і використовується багато юстирувальних структур для з'єднання волокон за допомогою клейкої речовини. Конструкції чотирьох із них показані на рисунку 3.1. Кожна з цих структур механічно вирівнює волокна і потім забезпечує їхнє надійне з'єднання за допомогою клею. Волокна фіксуються в заданому положенні за допомогою епоксидної

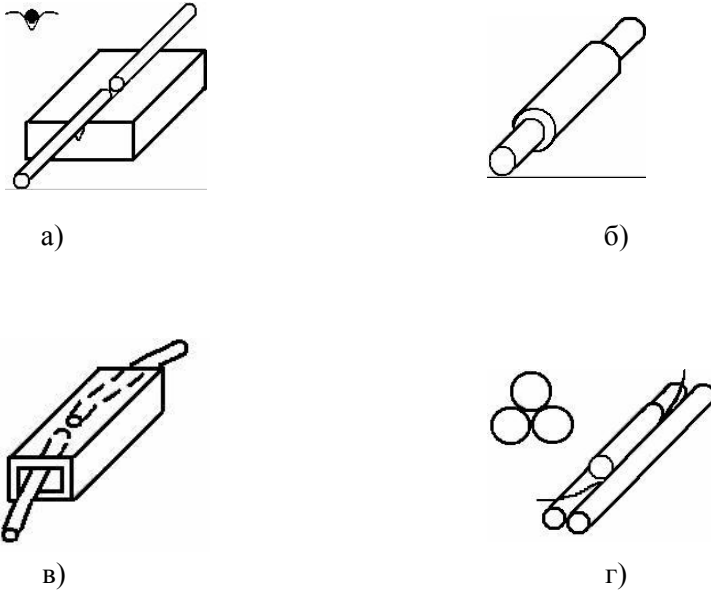
смоли. Оскільки для затвердіння епоксидної смоли потрібний певний час, ці з'єднувачі не можуть використовуватись негайно. Час затвердіння смоли можна скоротити.

V-подібна канавка (рис.3.1а) є основою найпростішого механічного з'єднувача. Оголені волокна, які потрібно з'єднати, розміщуються в канавці, при цьому досягається добре кутове вирівнювання. Волокна можуть ковзати в канавці назустріч одне одному до зіткнення торців, після чого фіксуються в цьому положенні за допомогою епоксидної смоли. Після затвердіння смоли похибка, внаслідок зазору між торцями, мінімальна. Якщо показник заломлення епоксидної смоли узгоджений із показником заломлення серцевин з'єднуваних волокон, тоді навіть невеликий зазор між торцями не викликає великих втрат. Поперечний зсув буде незначним у *V-подібній* канавці, якщо обидва волокна мають однакові діаметри серцевин і оболонки і якщо серцевини концентрично розташовані щодо оболонки. Зсув серцевин відносно оболонки (ексцентриситет) може бути виявлений обертанням вихідного волокна при контролі передаваної потужності.

Волокна з однаковими поперечними розмірами, без еліптичності серцевин і ексцентриситету оболонки і серцевини дають однакову вихідну потужність для всіх положень вихідного (вхідного) волокна при його обертанні. Жодний зі з'єднувачів на рисунку 3.1 не може забезпечити компенсацію неконцентричності серцевин. Шар захисного покриття може наноситися на поверхню *V-* подібного з'єднувача, щоб забезпечити додатковий захист.

Прецизійний капіляр (рис.3.1б) має центральний отвір для вводу волокон у буферній оболонці. Кінці капіляра трошки розширюють, щоб полегшити ввід волокна. Епоксидна смола з узгодженим ПЗ може наноситися на торці волокон перед тим як їх ввести у капіляр. Також відомі устрої з використанням прямокутної вільної трубки та трьох стріжней. У деяких капілярах є боковий отвір для спостереження торців контактуючих волокон і введення краплі епоксидної смоли або рідини. Капіляри можуть бути металевими, скляними або пластмасовими. Є пристрої зрощування, де матеріалом капіляра є еластична пластмаса. Якщо волокна вставлені в отвір з трохи зменшеним діаметром, еластичний матеріал змушує обидва волокна вирівнюватися уздовж загальної центральної осі. Навіть волокна з неоднаковими діаметрами оболонки будуть співвісними в такому

еластичному капілярі. З'єднувачі з *вільною трубкою* (рис.3.1в) волокна входять у прямокутну трубку. Вигін волокон змушує кінці волокон пересуватися в трубці і розташувати їх уздовж одного з внутрішніх ребер трубки. З'юстировані таким чином волокна фіксуються за допомогою епоксидної смоли. *Три прецизійних стержні* зі скла або металу також можуть бути використані для юстирування волокон (рис.3.1г).



а) V-подібна канавка; б) прецизійний капіляр; в) вільна прямокутна трубка; г) три стержні

Рисунок 3.1 - Варіанти клейового з'єднання ОВ

Діаметри стержнів вибрані так, щоб отвір між циліндрами, був більшим, ніж діаметр з'єднуваних волокон по оболонці. Після того як з'єднані ОВ вставлені в отвір і зведені до дотику, використовують епоксидну смолу. Потім поверх юстирувального пристрою накладають термоусадочну трубку. Після прогріву і охолодження вона забезпечує фіксацію стержнів і притискає до них ОВ.

Механічне з'єднання. При пошкодженні волоконно-оптичних

кабелів (ВОК), (наприклад, в польових умовах) його можливо відремонтувати за допомогою механічних сплайсів (МС). МС - це прецензійний, простий в застосуванні і недорогий пристрій для швидкого з'єднання оптичних волокон з діаметром 0,25...1мм за допомогою механічних затискувачів. МС призначено для многоразового або одноразового використання. Скляний капіляр з імерсійним гелем забезпечує вносне загасання $< 0,2$ дБ і оборотне загасання < -50 дБ. По надійності і по власному загасанню МС уступає зварному з'єднанню.

З'єднання волокон за допомогою зварювання. Зварні з'єднання виконуються зварюванням двох скляних ОВ (рис. 3.2). Звичайно в пристроях для зварювання ОВ використовують електричну дугу для того, щоб розплавити торці волокон. Перед зварюванням кінці волокон готують за методом *насичення і наступного сколювання*. Потім домагаються соосності, регулюючи положення волокон одне відносно другого за допомогою трикоординатних мікроманіпуляторів. Процес юстирування візуально контролюється за допомогою мікроскопа або будь-якого іншого пристрою збільшення. Точність юстирування також можна перевірити, контролюючи потужність, що передається через стик, перед тим, як волокна будуть з'єднані.

Якщо передавач і приймач розміщуються далеко від точки з'єднання (скажімо, кілька сотень метрів або більше), то таке вимірювання може бути важким і забирати багато часу. Вирішенням цієї проблеми є метод *місцевого* (локального) вводу *світла і його наступного детектування* (light injecting and detection-LID). При використанні LID - метода світло вводять в одне із з'єднувальних волокон на невеликій відстані від точки з'єднання (10...20 см) і виводять для детектування з іншого волокна (на такій самій відстані). Ввід і вивід світла з волокна здійснюється через вигин волокна навколо циліндра, який має малий радіус. Вигин настільки сильний (звичайно його радіус становить декілька міліметрів), що енергія може бути введена у волокно при розміщенні джерела світлу у місті вигину вхідного волокна і виведена при установці фотоприймача поблизу вигину вихідного волокна. У більшості одномодових волокон буферне покриття прозоре, тому не потрібно його видалення для використання LID - методу. У деяких випадках буферні покриття волокон фарбовані (маркіровані) барвником для ідентифікації, який може бути непрозорий. Фарбу в місцях вигину слід видалити. Для цього

використовують розчинник типу ацетону. У процесі зварювання сили поверхневого натягу забезпечують вирівнювання осей волокон, мінімізуючи поперечне зміщення. Нероз'ємні з'єднання, виконані на серійних зварювальних установках, забезпечують втрати менше ніж 0,25 дБ. Після виконання зварювання настає етап відновлення захисного (полімерного) покриття. Оголена частина зварених волокон охоплюється (захищається) за допомогою епоксидної смоли, або термоусадочної трубки. З'єднання зварюванням використовується для кварцових волокон (як багатомодових, так і одномодових).

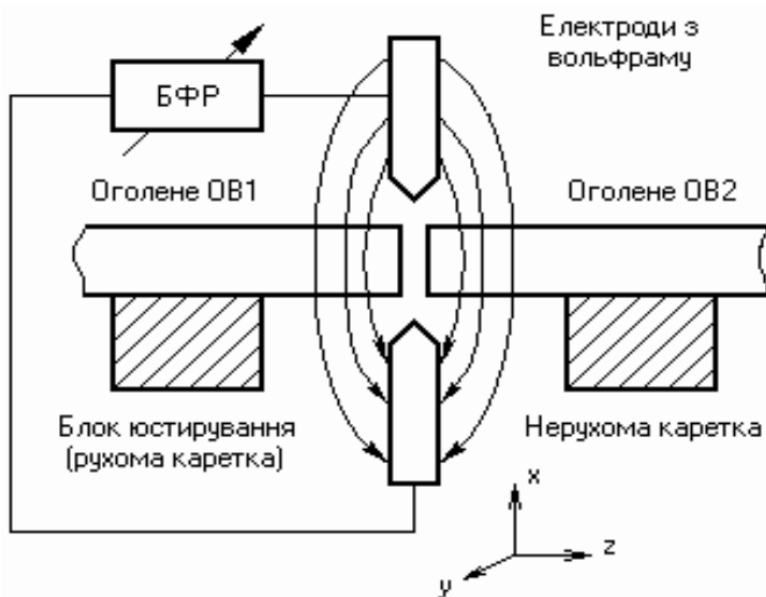
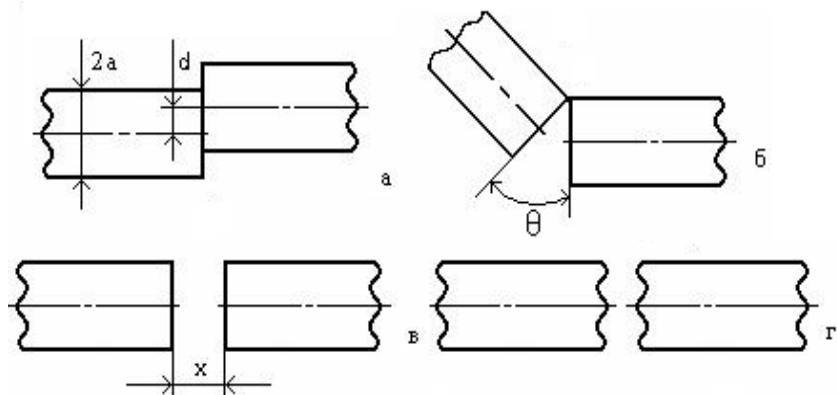


Рисунок 3.2 – Принцип електродугового зварювання

Причини втрат при з'єднанні волокон. На рисунку 3.3 графічно подані деякі причини виникнення *зовнішніх втрат* при з'єднанні ОВ. Точне з'єднання потребує відсутності *поперечного* і *кутового зсуву*, *зазору* між контактуючими волокнами, а також *плоских і паралельних торців*.



а) поперечне зміщення; б) кутове зміщення; в) зазор між торцями; г) шорсткість торців.

Рисунок 3.3- Графічне представлення причин виникнення втрат при з'єднанні ОВ

При з'єднанні волокон, мають місце і *внутрішні втрати*. Ефективність передачі потужності знижується, якщо з'єднувані:

- мають різницю в числових апертурах або в діаметрах сердцевин;

- мають сердцевини волокон у вигляді еліпса (а не кола) у перетині і з'єднуються так, що їхні велика і мала осі взаємно перпендикулярні;

- центри сердцевин з'єднуваних волокон не збігаються з центрами оболонок (ексцентриситет). При ретельному юстируванні зазначені види втрат можуть бути мінімізовані, що дає змогу створювати нероз'ємні з'єднувачі з втратами < 0,1 дБ.

Для багатомодових східчастих ОВ з діаметром сердцевини $2a$ (мкм) і числовою апертурою NA ефективність передачі потужності α (дБ) може бути розрахована за наступними формулами:

- для поперечного зміщення розміром d (мкм):

$$\alpha_d = -10 \lg \left\langle \frac{2}{\pi} \left[\arccos \frac{d}{2a} - \frac{d}{2a} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2a} \right)^2} \right] \right\rangle; \quad (3.1)$$

– для кутового зміщення розміром Θ (радіан):

$$\alpha_{\Theta} = -10 \lg \left(1 - \frac{n \cdot \Theta}{\pi \cdot NA} \right); \quad (3.2)$$

в) для зазору між торцями розміром X (мкм):

$$\alpha_x = -10 \lg \left(1 - \frac{X \cdot NA}{4a \cdot n} \right). \quad (3.3)$$

3.2 Завдання до роботи

1. Вивчити методи з'єднання ОВ.
2. Підготувати відповіді на контрольні запитання.
3. Для багатомодових східчатих ОВ з діаметром серцевини $2a=50$ мкм і числовою апертурою $N_A=0,24$ розрахувати за формулами (3.1 - 3.3) відповідні ефективності передачі потужності (α_d , α_{θ} , α_x , дБ) для поперечного, кутового, повздовжнього зміщення для $n=1$ (повітря). Вхідні дані за варіантами № 0...9, що відповідають останній цифрі залікової книжки, наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Вхідні дані для виконання ПР

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, мкм	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25
θ , град.	9	8	7	6	5	4	3	2	1	10
X, мкм	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5

3.3 Лабораторний макет

Структурну схему макету наведено на рисунку 3.4, де:

- 1-джерело випромінювання (ДВ) - перетворювач електричного сигналу в оптичний на основі світлодіоду (СД) із комплекту оптичного тестера;
- 2-змішувач мод;
- 3-пристрій вводу випромінювання в ОВ;

- 4-оптичне багатомодове волокно встановлене у зварювальне устаткування;
- 5-приймач випромінювання (перетворювач оптичного сигналу в електричний на основі фотодіоду (ФД) із складу тестера);
- 6-блок індикації тестера;
- 7-блок формування електричного розряду;
- 8-юстирувальний пристрій з мікроскопом і зварювальний пристрій;
- 9-блок живлення ($\sim 220 \text{ В} / = 3000 \text{ В}$) зварювального устаткування;
- 10-комплект інструментів для обробки ВОК і підготовки ОВ для зварювання.

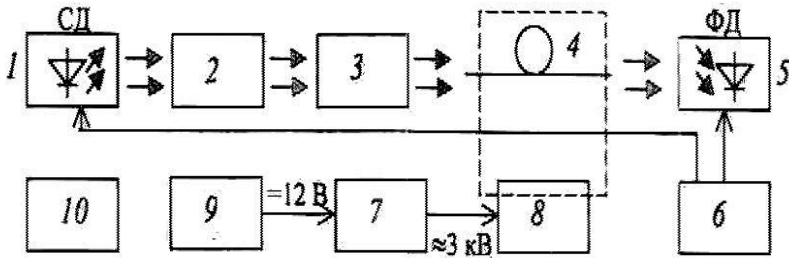


Рисунок 3.4 – Структурна схема лабораторного макету

Функціонування лабораторного макету. Блок живлення (9) та формування електричного розряду (7) устаткування перетворює електричну енергію напругою 220В в енергію з напругою близько 3кВ. Напруга необхідна для створення електричної дуги між електродами зварювального устаткування (8). Температура в зоні електричної дуги може досягати 1800°C. Юстирувальний пристрій (8) має дві каретки у які затискаються підготовлені для зварювання оптичні волокна (4). Одна з кареток нерухома, а друга може переміщуватися за допомогою спеціальних мікрометричних гвинтів в трьох координатах – (хуz). Візуальний контроль за процесом юстирування оптичних волокон здійснюється за допомогою мікроскопа. Через окуляр мікроскопа можна спостерігати за волокнами зверху, або збоку через спеціальне

дзеркальце, тобто у двох площинах. Комплект інструментів (10) служить для обробки ОК, зняття захисного покриття з волокон та сколювання їх торців.

3.4 Контрольні питання

1. Перерахувати основні варіанти з'єднання пасивних компонентів волоконно-оптичного лінійного тракту і пояснити проблеми, що виникають при їх здійсненні.

2. Назвіть причини виникнення втрат при з'єднанні ОВ між собою. Які похибки юстирування волокон вносять найбільші втрати?

3. Які види втрат мають місце при з'єднанні ОВ з технологічними відхиленнями?

4. У яких випадках значення втрат при з'єднанні ОВ залежать від напрямку поширення світла?

5. Який метод підготовки торців ОВ використовується на практиці?

6. Перелічіть методи виконання нероз'ємних з'єднань ОВ, порівняйте їх за втратами, міцністю і вартістю.

7. Зазначити спосіб зниження втрат при клейовому з'єднанні ОВ і механічному з'єднанні ОВ.

3.5 Послідовність технологічних операцій при зварюванні

Увага! Використовується спеціальний комплект інструментів для ВОК та підготовки ОВ для зварювання.

1. Зняти захисні оболонки з ВОК.

2. Зняти полімерне захисне покриття з ОВ довжині 3...4 см.

3. Зняти лакову плівку, що покриває поверхню волокна, за допомогою серветки, змоченої розчинником.

4. Сколотити торці ОВ за допомогою пристрою для їх сколювання.

5. Зафіксувати кінці підготованих до зварювання ОВ у нерухомій та рухомій каретках юстирувального пристрою зварювального обладнання.

6. Візуально перевірити якість сколювання торців ОВ.

7. За допомогою юстирувальних мікрометричних гвинтів добитися співвісності ОВ у двох взаємно \perp площинах.

8. Установити режим оплавлення торців (між якими є повітряний проміжок). Силу струму (мА) та час (сек.) електричного розряду задає викладач в залежності від типу ОВ.

9. Ввімкнути напругу для створення електричної дуги та оплавлення торців.

10. Установити режим зварювання. Силу струму (мА) та час (с) електричного розряду задає викладач.

11. Включити напругу для створення електричної дуги, та виконати зварювання при одночасному притисканні торців ОВ.

12. Візуально перевірити якість оплавлення торців ОВ.

13. Відновити міцність захисного покриття за допомогою термоусадочної трубки (за завданням викладача).

3.6 Проведення роботи

1. Ознайомитись з технічним описанням зварювального устаткування і інструкцією по техніці безпеки.

2. Підготувати виданий викладачем відрізок ОК (ОВ) завдовжки 1...2 м. Один кінець його приєднати до змішувача мод, а другий - до приймача випромінювання оптичного тестера.

3. Виконати юстирування вхідного кінця ОВ по максимуму потужності на його виході. Записати показання цифрового табло блоку індикації тестера P_1 , Вт або дБм.

4. Розрізати ОВ на дві частини і за допомогою інструмента підготувати кінці ОВ для зварювання.

5. Встановити підготовані кінці ОВ в юстирувальні каретки зварювального обладнання і за допомогою мікроскопу забезпечити їх співосність.

6. Зробити очистку і зведення торців ОВ.

7. Виконати зварювання не змінюючи умов вводу оптичного випромінювання у ОВ. Виміряти і записати значення потужності на виході ОВ після зварювання P_2 (Вт або дБ).

8. Обчислити загасання, яке вносить зварне з'єднання за формулами: $a = 10 \lg (P_1/P_2)$, дБ або $a = P_1(\text{дБм}) - P_2$, (Вт).

Зауваження. Якщо отримане загасання є більшим 0,3 дБ, тоді ОВ необхідно розрізати в точці зварювання, знову підготувати торці і провести повторне зварювання і вимірювання внесеного загасання.

Виконати 3-4 зварювання та за результатами трьох-чотирьох зварювань розрахувати середнє значення загасання в зварному з'єднанні ОВ і порівняти з нормою.

3.7 Техніка безпеки

1. **УВАГА.** Блок живлення знаходиться під напругою ~220 В, а електроди зварювального обладнання - під напругою ~3000 В.

2. Забороняється заглядати в торці ОК та ОВ з яких може випромінюватися інфрачервоне випромінювання. Це небезпечно для Ваших органів зору.

3. При сколюванні торців обламани шматки ОВ обов'язково треба складати у спеціальний посуд, що є на лабораторному столі, щоб вони не потрапили в м'які частини тіла!

3.8 Зміст звіту

Оформлений звіт повинен містити:

- назву і мету практичної роботи, теоретичні відомості;
- структурну схему лабораторного макету, склад і призначення обладнання;
- результати розрахунків за завданням згідно індивідуального номера (відповідає останній цифрі залікової книжки);
- результати вимірювань загасання потужності у зварному з'єднанні ОВ;
- висновки по ПР (порівняти отримані дані з нормативними).

4 ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Волоконно-оптичні розгалужувачі

МЕТА ПР. Метою практичної роботи №4 є закріплення знань, отриманих при ознайомленні з оптичними розгалужувачами, що складаються з вивчення і практичного освоєння конструкцій волоконно-оптичних розгалужувачів (ВОР); ознайомлення з основними характеристиками ВР; придбання практичних навичок розрахунку і контролю їх оптичних характеристик.

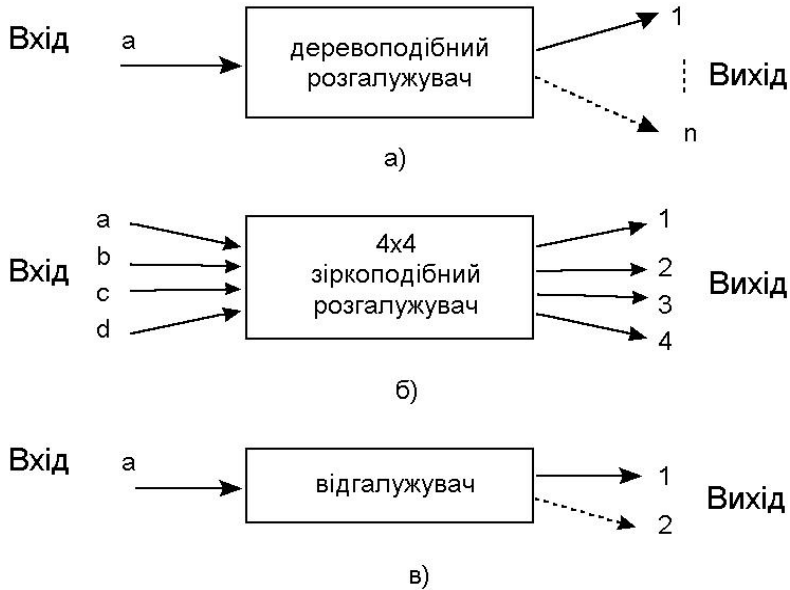
4.1 Теоретичні відомості

Розподільні мережі. Для розподілу оптичного випромінювання в кілька волоконних каналів, або навпаки, для об'єднання кількох оптичних сигналів для передачі по одному каналу потрібні такі пристрої, як відгалужувачі та розгалужувачі.

Розгалужувач (coupler) – пристрій, у якому відбувається як правило, однаковий розподіл потужності вхідного сигналу між двома або більшим числом вихідних каналів (полосів). При зміні напрямку світлових потоків на протележний розгалужувач виконує роль об'єднувача (суматора). **Відгалужувач** – це різновид розгалужувача, у якому вихідна потужність розподіляється між вихідними каналами не обов'язково в рівній мірі. Основні категорії оптичних розгалужувачів:

- древоподібний розгалужувач;
- зіркоподібний розгалужувач;
- відгалужувач.

Розгалужувачі можуть застосовуватися в різних волоконно-оптичних схемах. На рисунку 4.1а приведені використання Y-подібного розгалужувача в схемі рефлектометра. На рисунку 4.2б приведена схема використання чотирьохполосного X-подібного спрямованого розгалужувача в локальній кільцевій мережі

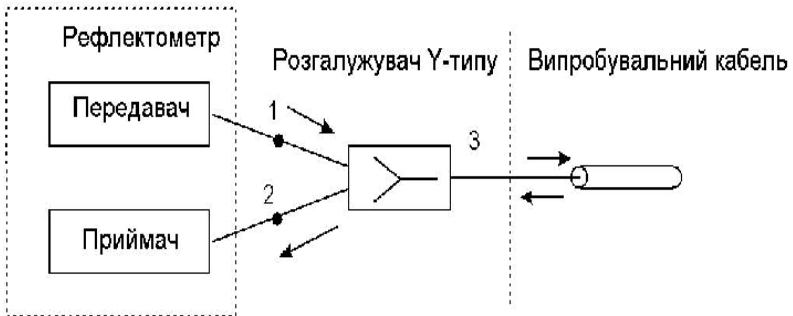


а) Древоподібний розгалужувач; б) зіркоподібний розгалужувач; в) відгалужувач

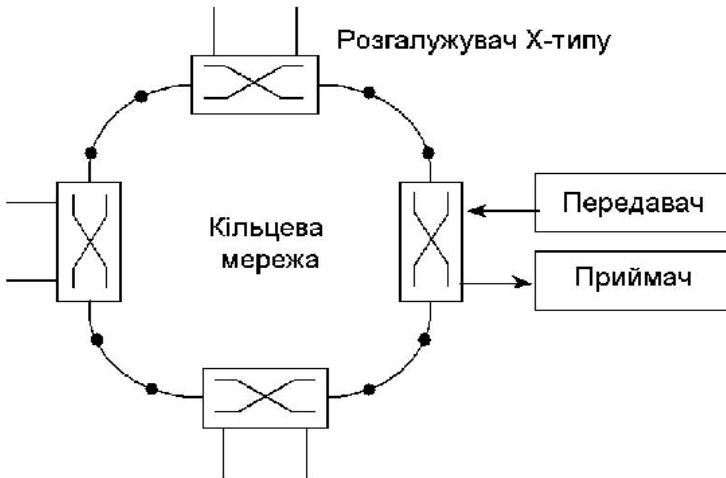
Рисунок 4.1 – Типи розгалужувачів

На рисунку 4.2в приведена схема дуплексної системи передачі по одному ОВ з використанням Y-подібних розгалужувачів. Зіркоподібний розгалужувач (star coupler) Зіркоподібний розгалужувач звичайно як правило має однакове число входних і вихідних полюсів. Оптичний сигнал приходить на один з n входних полюсів і в однаковій мірі розподіляється між K вихідними полюсами. Поширення одержали зіркоподібні розгалужувачі 2×2 і 4×4 . В запобіганні плутанини по входних і вихідних полюсах, прийнято позначати входні полюси латинськими буквами, а вихідні полюси- цифрами (рис. 4.1б). Зіркоподібні розгалужувачі розподіляють потужність в однаковій мірі між усіма вихідними полюсами.

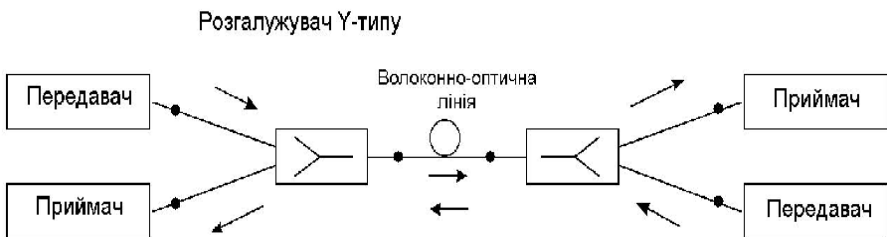
Типи розгалужувачів. Древоподібний розгалужувач (tree coupler) здійснює розщеплення одного входного оптичного сигналу на декілька вихідних, або виконує зворону функцію - об'єднання декількох сигналів в один вихідний (рис. 4.1а).



а)



б)



в)

Рисунок 4.2 - Типові схеми застосування ВОР

Звичайно древоподібні розгалужувачі розподіляють потужність в однаковій мірі між усіма вихідними полюсами. Конфігурація полюсів позначається як $n \times m$, де n – число вхідних полюсів (для древоподібного розгалужувача $n=1$), а m – число вихідних полюсів, коли пристрій працює в режимі розщеплення. У застосовуваних моделях кількість вихідних портів може знаходитися в межах від 2 до 32...64. Більшість древоподібних розгалужувачів двонаправлені. Тому розгалужувач може виконувати функції поділу або об'єднання сигналів.

Характеристики відгалужувачів. Спрямований відгалужувач є основним компонентом багатьох розподільних мереж. На рисунку 4.3 показано розгалужувач із чотирма полюсами (X-відгалужувач).

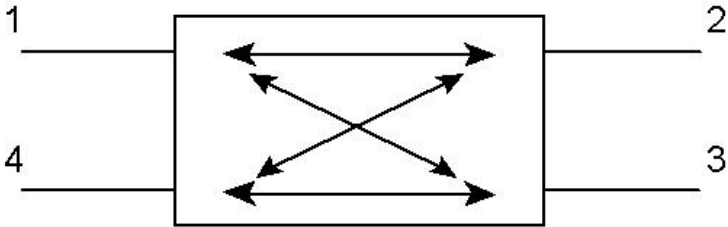


Рисунок 4.3 – Чотириполосний спрямований X-подібний відгалужувач

Такий відгалужувач є двоспрямованим. Можливі напрямки розповсюдження потужності світла показано на рисунку стрілками. Для опису параметрів відгалужувача прийемо, що на полюс 1 приходить потужність P_1 , що ділиться між полюсами 2 і 3 у відповідній пропорції. В ідеалі жодна частка потужності не потрапляє на полюс 4 (що називається ізольованим). Без втрат спільності розгляду можемо прийняти, що потрапляє на полюс 2, дорівнює або більша за потужність, що з'являється на полюсі 3.

Вводять наступні параметри, що описують характеристики відгалужувача, які вимірюються в дБ:

– коефіцієнт передачі визначає втрати передачі потужності між вхідним полюсом "1" та одним із вихідних полюсів (у даному випадку "2"):

$$\alpha_{nep} = -10 \lg \frac{P_2}{P_1}; \quad (4.1)$$

– коефіцієнт відгалуження враховує передачу між вхідним полюсом "1" і полюсом відгалуження (у даному випадку "3"):

$$\alpha_{від} = -10 \lg \frac{P_3}{P_1}; \quad (4.2)$$

– коефіцієнт спрямованості визначає передачу потужності між вхідним "1" та ізольованим "4" полюсами:

$$\alpha_{спр} = -10 \lg \frac{P_4}{P_1}; \quad (4.3)$$

– внесені втрати оцінюють потужність, що губиться у відгалужувачі. Вона обумовлена випромінюванням, розсіюванням, поглинанням і зв'язком з ізольованим полюсом:

$$\alpha_{вт} = -10 \lg \frac{(P_2 + P_3)}{P_1}. \quad (4.4)$$

В ідеальному відгалужувачі потужність не потрапляє до ізольованого полюсу "4" ($\alpha_{спр} = \infty$). До того ж він не має внутрішніх втрат потужності, так що загальна потужність, що з'являється на полюсах "2" і "3", дорівнює потужності на вході: $P_1 = P_2 + P_3$.

Якісні спрямовані відгалужувачі мають внесені втрати менші 1 дБ і коефіцієнт спрямованості більший за 40 дБ.

Конструкції розгалужувачів. Конструкція розгалужувача залежить від типу ОВ, приймального кута, відношення радіуса серцевини до товщини оболонки, модового розподілу, що збуджується на вході ОВ. По своїй конструкції розгалужувачі розділяють на дві групи: біконічні, у яких випромінювання передається через бічну поверхню і торцеві, у яких випромінювання передається через торець

ОВ. В обох випадках передача випромінювання може здійснюватися або при без-псерцевньому контакті ОВ, або через допоміжні елементи – дзеркала, лінзи, змішувачі. У біконічних розгалужувачах світло може бути ви-тягнуте через бічну поверхню при перетворенні спрямованої моди в моду випромінювання при зв'язку з другим ОВ через зникаюче поле. Перетворення хвиль, що поширюється, у моди випромінювання одержують при вигині ОВ (рис.4.4а), або при знятті оболонки, що відбиває (рис.4.4б).

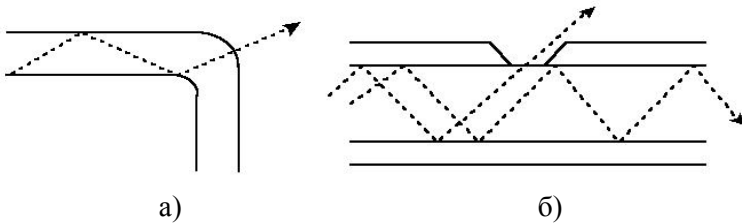


Рисунок 4.4 – Перетворення хвилі, що розповсюджується у вихідні моди випромінювання

Біконічні розгалужувачі відносно легко виготовляти, однак вони мають погану відтворюваність параметрів. Внесені втрати: 0,2-1дБ. З розгалужувачів торцевого типу найбільш поширені такі, у яких торці вихідних ОВ безпсерцевньо зістиковуються з торцем вхідного ОВ і закріплюються механічно або склеюються (рис.4.5). Змінюючи взаємне положення торців ОВ і підбираючи їх поперечний переріз можна змінювати в широких межах відношення потужностей в різних вихідних каналах.

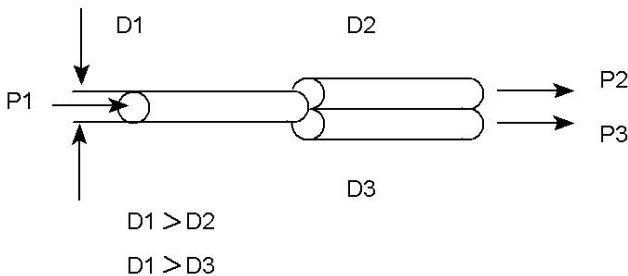


Рисунок 4.5 – Розгалужувач торцевого типу

Внесені втрати складають 0,3-1,2 дБ. Для зниження втрат, а також для зменшення порушення мод, оболонки зтравлюють або зішлифовують. Можливе виготовлення розгалужувачів з гільчастою структурою, сформованої шляхом склеювання або сплавлення вихідних торців ОВ уздовж зішлифованих під малим кутом серцевин і з'єднання з торцем вхідного ОВ (рис.4.6). Принцип розгалужувача простий, але виготовлення має труднощі. Внесені втрати 0,5 – 1,2 дБ - конструкція підходить і для градієнтних, і для східчастих світловодів. Поділ мод і втрати ростуть з ростом кута, під яким з'єднані світловоди.

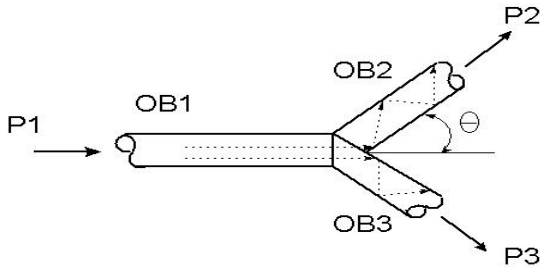


Рисунок 4.6 – Розгалужувач із структурою біконічного спрямування

Зіркоподібний розгалужувач відбиваючого типу складається з циліндричного корпуса зі скляним змішувальним стрижнем 1 (рис.4.7). Один з кінців змішувального стрижня являє собою сферичне дзеркало 2, на інший кінець нанесене покриття, що просвітлює, 3. Випромінювання, що виходить з будь-якого світловода 4 відбивається від дзеркала і рівномірно розподіляється по всім іншим світловодам.

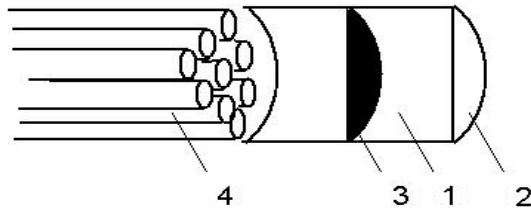


Рисунок 4.7 – Зіркоподібний розгалужувач

Найбільше поширення одержали розгалужувачі зі сплавним переходом (biconicol tapered coupler), виготовлений шляхом зливання двох багатомодових (східчастих чи градієнтних) ОВ, наступного їх нагрівання і витягування до утворення біконічного переходу: перемичка з діаметром рівним діаметру ОВ - сплавляються (рис.4.8).

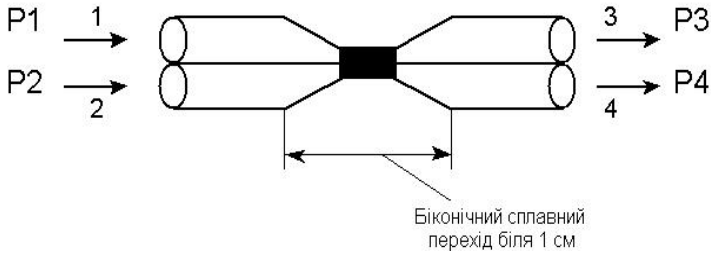


Рисунок 4.8 – Біконічний розгалужувач зі сплавним переходом

Моди вищого порядку, що надходять у відвід (порт) 1 за рахунок вхідного звуження перемички входять в оболонку і в результаті стають загальними в оболонці обох відводів (портів) 3 і 4. Далі за рахунок вихідного розширення перемички ці оболончні моди знову входять у серцевини відводів. На практиці реалізовані розгалужувачі з ОВ як із градієнтним так і зі східчастим профілем ПЗ; вони мають коефіцієнт зв'язку від 3 дБ (однакова потужність в обох вихідних відводах) до 20 дБ.

4.2 Завдання до роботи

1. Вивчити призначення ОР оптичної потужності і їх класифікацію.
2. Ознайомитися з принципами розгалуження потужності в ОВ.
3. Вивчити конструкцію розгалужувачів і основні характеристики
4. Продумати порядок проведення практичної роботи з виміру параметрів оптичного розгалужувача Y типу.
5. Розрахувати усі чотири характеристики розгалужувача в дБ, використовуючі таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Вхідні дані для розрахунків

	Остання цифра залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{\text{вх1}}, \text{mW}$	1,5	1,3	1,2	1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,5	0,4
$P_{\text{вих2}}, \text{mW}$	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,45	0,4	0,2	0,15	0,2
$P_{\text{вих3}}, \text{mW}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,15	0,15	0,1
$P_{\text{вих4}}, \text{mW}$	0,01	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001

4.3 Контрольні питання

1. У чому різниця між розгалужувачем і відгалужувачем.
2. Які бувають типи розгалужувачів.
3. Що таке дільник оптичної потужності?
4. Зіркоподібний дільник оптичної потужності, принцип дії?
5. Як улаштовані торцевий і біконічний розгалужувачі.
6. Як улаштований зіркоподібний розгалужувач.
7. Пристрій розгалужувача зі сплавним переходом.
8. Перелічити параметри, що характеризують розгалужувач.
9. Що таке коефіцієнт відгалуження і як він визначається.
10. Що таке внесені втрати і як вони визначаються.

4.4 Прилади та обладнання

Опис оптичного розгалужувача. У ПР використовується розгалужувач Y-типу, побудований за принципом рівномірного розподілу оптичної потужності з багатомодових волоконних світловодів типу «кварц-кварц» з коефіцієнтом розподілу потужності по каналах 1:2, або з коефіцієнтом передачі між полюсами 3 дБ, перехідним загасанням на ближньому кінці не менш 40 дБ, довжиною хвилі випромінювання при якій гарантуються параметри – 0,85 мкм. По типу виготовлення ВОС біконічний зі сплавним переходом, виготовлений шляхом зшивання двох багатомодових волокон, наступного їх нагрівання і витягування до утворення біконічного переходу – перемички з діаметром рівним діаметру волокон, що сплавляються, і зварюванню їх із третім світловодом.

Розгалужувач забезпечений кабельною оболонкою, у яку укладені світловоди і оконцовані оптичними з'єднувачами

(конекторами) з діаметром вилки 2,5 мм. Розгалужувач укладений у пластмасовий захищений кожух, на який нанесене маркірування. Для виміру оптичних параметрів розгалужувача використовується тичний тестер (ОТ) типу ОКМЗ-76.

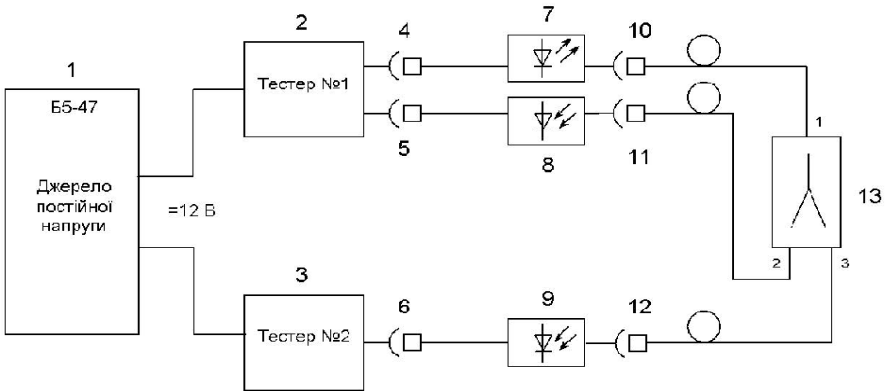


Рисунок 4.9 – Блок-схема макету для вимірювання характеристик ОР

1 – джерело постійної напруги; 2, 3 – вимірювальні блоки тестерів; 7 – випромінювач; 8, 9 – фотоприймач; 13-розгалужувач; 4, 5, 6, 10, 11, 12 – з'єднувачі.

4.5 Техніка безпеки

УВАГА. При роботі з ОР і ОТ забороняється заглядати в торці оптичних конекторів (розгалужувача, ОТ, ін.) з яких випромінюється ІЧ випромінювання. Це небезпечно для органів зору.

4.6 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією ОР.
2. Ознайомитися з конструкцією і правилами користування ОТ.
3. Зібрати схему для вимірювання характеристик розгалужувача (схема приведена на рисунку4.9).
4. Зробити вимір показань приладу при підключенні еталонного кабелю (потужність P_1).

5. Зробити підключення до джерела випромінювання через еталонний кабель загального кінця розгалужувача 1, а до приймачів випромінювання кінців 2 і 3. Замірити величину оптичної потужності на кожному з кінців 2 і 3 (P_2 і P_3).

6. Розрахувати коефіцієнти передачі, що вносяться по формулі (4.1), між вхідним полюсом та вихідним полюсом 2.

7. Розрахувати коефіцієнт відгалуження по формулі (4.2).

8. За отриманими результатами в пп. 4...7 визначити внесені втрати розгалужувача по формулі (4.4).

9. Намалювати конструкцію розгалужувача і нанести на рисунок отримані параметри, що характеризують розгалужувач.

4.7 Зміст звіту

Оформлений звіт повинен містити:

- мету, назву і призначення ПР, теоретичні відомості;
- структурну схему лаб.макету, склад і призначення вузлів;
- результати вимірювання параметрів розгалужувача: P_1 , P_2 , P_3 ;
- результати розрахунків: коефіцієнти передачі α_n , співвідношення розгалуження на вихідних портах α_p , внесені втрати $\alpha_{вн}$;
- рисунок схеми ОР, результати розрахунків на відповідних портах;
- висновки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пролетарский А.В. Беспроводные сети Wi-Fi / А.В. Пролетарский, И.В. Баскаков, Д.Н. Чирков. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий, 2007. – 178 с.
2. Джон Росс. Беспроводная компьютерная сеть Wi-Fi своими руками. Установка, настройка, использование.– СПб.: Наука и Техника, 2009. – 384 с.:
3. Колисниченко Д.Н. Беспроводная сеть дома и в офисе. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 480 с.: ил. – (Самоучитель) ISBN 978-5-9775-0427-0
4. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс. – М.: Издательство: Вильямс, 2005. – 640 с.
5. Вишневский В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
6. Корнейчук В.И. Измерение параметров компонентов и устройств ВОСП. Учебное пособие / В.И. Корнейчук. – Одесса: Видавничий центр УДАЗ ім О.С. Попова, 2000. – 232 с.
7. Коток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку / В.Б. Коток. – К.: Lucent Technologies, 1999 – 480 с.
8. Стерлинг Д.Д. Техническое руководство по волоконной оптике / Д.Д. Стерлинг. – М.: Лори, 1998. – 288 с.
9. Корнійчук В.І. Волоконно-оптичні компоненти, системи передачі та мережі / В.І. Корнійчук, П.Д. Мосорін. – Одеса: Друк, 2001. – 363 с.