Однорог П. М.
Омецінська О. Б.
Михайленко Є. В.

під редакцією Катка В. Б.

ВИДАННЯ ТРЕТЄ

КИЇВ 2005

Зміст

Стор.

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1 ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ 4
§1.1 Фізичні основи передачі по волоконно-оптичних світловодах 4
§1.2 Етапи розвитку ВОСП 11
§1.3 Розвиток ВОСП в Україні 12
§1.4 Будівництво ВОСП 14
§1.5 SDH, ATM, Ethernet. 26
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ WDM 27
§2.1 Відмінності WDM та TDM 27
§2.2 Технологія DWDM та CWDM. 28
§2.3 Реалізація WDM систем 32
§2.4 Характеристики сучасних WDM систем 36
РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРА WDM СИСТЕМИ 38
§3.1 Транспондер 38
§3.3 Оптичний передавач 39
§3.4 Фотоприймач 40
§3.5 Атенюатори 40
§3.6 Комутатори 40
§3.7 Хвильові розгалужувачі 44
§3.8 Пристрої компенсації дисперсії 44
§3.9 Оптичні підсилювачі 45
§3.10 Хвильові конвертери 48
§3.11 Оптичне волокно 48
§3.12 Волокна на основі фотонних кристалів 52
§3.13 Характеристика WDM системи в цілому 54
§3.14 Параметри, що впливають на ефективність роботи елементів WDM систем . 54
§3.15 Оптичні фільтри 58
§3.16 Оптичні з'єднувачі 58
§3.17 Норми на параметри пасивних оптичних компонентів відповідно до рекомендації ITU G.671. 62
РОЗДІЛ 4 СТАНДАРТИ, ЩО ОПИСУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ, ПАРАМЕТРИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ WDM СИСТЕМ 78
РОЗДІЛ 5 ВИМІРЮВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ WDM СИСТЕМ. 97
§5.1 Вимірювання та моніторинг 97
§5.2 Короткий огляд оптичного моніторингу 97
§5.3 Рефлектометри за вимірювання параметрів оптичних компонентів. 100
§5.4 Оптичні аналізатори спектра при вимірюванні параметрів оптичних компонентів. 104
РОЗДІЛ 6 МЕТОДИ, ЩО МОЖУТЬ ЗАСТОСОВУВАТИСЬ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НИЗКИ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ WDM СИСТЕМИ 105
§6.1 Приклад тестування елементів WDM системи 105
§6.2 Перевірка параметрів оптичних волокон 124
§6.3 Параметри інтерфейсів відповідно з рекомендаціями ITU G.957; G.691; G.693; G.695; G.959.1 125
§6.4 Деякі методи цифрового кодування 190
СЛОВНИК ІНШОМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 191
ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ. 193
ЛІТЕРАТУРА 194

Вступ

Ще донедавна здавалось, що впровадження SDH систем, які працювали на волоконнооптичному кабелі, вирішує всі проблеми на далеку перспективу розвитку первинної мережі зв'язку.

Та пройшло не більше десяти років від появи перших магістральних ВОСП, і виявилось, що їхня пропускна спроможність зовсім недостатня. Потрібно йти або шляхом нарощування швидкості передавання на найбільш завантажених ділянках, або шукати нові підходи до розбудови первинної мережі зв'язку. Поява технології WDM вирішує велику частину проблеми. Для магістральної мережі таким рішенням стали системи DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) – системи з щільним спектральним розділенням каналів та системи CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) – системи з нещільним (грубим) спектральним розділенням каналів. Останні здебільшого впроваджуються на міських мережах зв'язку.

Нова технологія потребує, як і за переходу на SDH, нових знань, нової якості з обслуговування та технічної експлуатації. Потрібні нові вимірювальні прилади для контролю параметрів систем WDM при їхньому монтажу, нові системи моніторингу при їхній експлуатації, нові стандарти, що регламентують параметри WDM систем та їхній моніторинг.

Експлуатація WDM систем потребує вищої кваліфікації фахівців галузі зв'язку. Інформація, котра надається постачальниками обладнання WDM систем, не містить вичерпної відповіді на велику низку питань, що постають перед спеціалістами, котрі експлуатуватимуть ці системи.

В цьому посібнику надається огляд технології WDM, опис пристроїв, котрі використовуються за створення системи WDM, стандартів, котрі описують технологію, вимірювання і параметри пристроїв WDM систем, та наводиться низка методів для контролю параметрів WDM систем.

Автори будуть вдячні на зауваження та доповнення щодо інформації, наданої в цьому посібнику. За можливості, висилайте Ваші зауваження та пропозиції на електронні адреси Petro_mo2005@ukr.net та Eugene_mv@ukr.net.

Виражаємо щиру подяку старшому науковому співробітнику НІЦ ЛКС **Ю. Б. Нікітченку**, науковому співробітнику НІЦ ЛКС к.т.н. **М. О. Котенку** та к.ф-м.н. **І.С. Меліщуку** за допомогу та поради при написанні цього посібника.

Технологія WDM досить швидко розвивається, змінюються стандарти та рекомендації стосовно цієї технології, з'явилась потреба внести корективи до першого видання книги.

В другому та третьому виданнях доповнення та зміни торкнулись майже всіх розділів книги.

Окрім цього друге видання доповнене нормами на параметри інтерфейсів WDM систем згідно з рекомендаціями ITU.

Розділ 1 Волоконно-оптичні системи передачі

§1.1 Фізичні основи передачі по волоконно-оптичних світловодах

Електромагнітною хвилею називається змінне в часі електромагнітне поле, що розповсюджується в просторі.

Електромагнітні хвилі залежно від їхнього спектра поділяють на діапазони:

Діапазон	**Довжина хвилі**
Гамма-випромінення	<0,0012 нм
Рентгенівське випромінення	0,0012 нм÷12 нм
Ультрафіолетове випромінення	12 нм÷380 нм
Видиме випромінення	380 нм÷760 нм
Інфрачервоне випромінення	760 нм÷1мм
Радіохвилі	>1мм

У видимому діапазоні основні кольори є такими: фіолетовий 380 нм ÷ 455 нм; блакитний 455 нм ÷ 492 нм; зелений 492 нм ÷ 577 нм; жовтий та жовтогарячий 577 нм ÷ 622 нм; червоний 622 нм ÷ 760 нм.

У волоконній оптиці використовується діапазон 800 нм÷1700 нм

Для передачі світла по волоконних світловодах використовують ефект повного внутрішнього відбиття (ПВВ).

За законом Снеліуса – відношення синуса кута променя, що падає на границю розділу середовищ з різною оптичною щільністю, до синуса кута променя, що проходить в інше середовище (заломлюється), дорівнює відношенню показників заломлення цих середовищ

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

де:

φ_1 – кут падіння (кут між променем, що падає, та перпендикуляром до границі розділу двох середовищ в точці падіння)

φ_2 – кут заломлення (кут між заломленим променем та вищезгаданим перпендикуляром)

n_1 – показник заломлення матеріалу першого середовища

n_2 – показник заломлення матеріалу другого середовища

Якщо промінь переходить з оптично більш щільного середовища до оптично менш щільного середовища, тобто $n_1 > n_2$, то $\varphi_2 > \varphi_1$. Тоді за певного кута падіння ($\varphi_{1кр.}$) на границю двох середовищ, промінь, що падає, буде повністю відбиватись (кут відбиття = куту падіння), отже, вся потужність випромінення залишатиметься в першому середовищі, (подібне явище можна спостерігати при зануренні у воду, тоді, на певній глибині з води стає видно небо лише у вигляді кола.) як показано на рисунку 1.1:

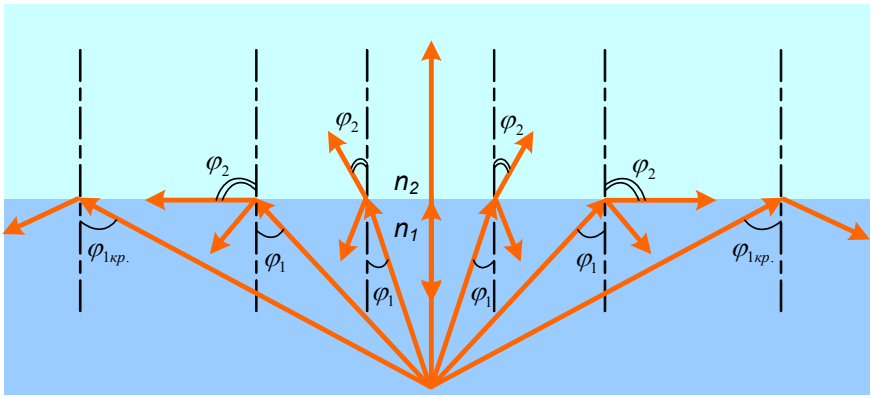


Рисунок 1.1

Важливою характеристикою матеріалу в оптичному діапазоні є показник заломлення. Показник заломлення показує, в скільки разів фазова швидкість електромагнітної хвилі в середовищі є меншою від швидкості розповсюдження світла у вакуумі. Для фазової швидкості електромагнітних хвиль в діелектрику маємо формулу:

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \mu_r \cdot \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}} = \frac{c}{n}$$

де:

$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ – відносна діелектрична проникність, середовища;

$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ – відносна магнітна проникність;

ε_0 – діелектрична проникність вакууму $\left(\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{Фарада}{метр} = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \, ф/м \right)$;

μ_0 – магнітна проникність вакууму $\left(\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Генрі}{метр} = 1{,}26 \cdot 10^{-6} \, гн/м \right)$;

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{ф}{м} \cdot \frac{гн}{м}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{a^2 \cdot сек^4}{кг \cdot м^2} \cdot \frac{кг \cdot м^2}{a^2 \cdot сек^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{a^2 \cdot сек^4 \cdot кг \cdot м^2}{кг \cdot м^4 \cdot a^2 \cdot сек^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{сек^2}{м^2}}} = \frac{м}{с} \right) -$$

швидкість світла у вакуумі;

$n = \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}$ – показник заломлення;

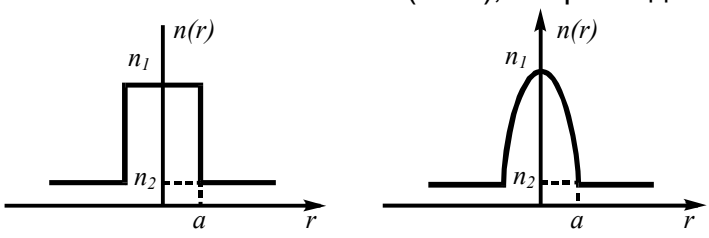
Таким чином, маємо: $n = \frac{c}{\upsilon}$.

Показник заломлення залежить від довжини хвилі або частоти світлової хвилі, температури та тиску в середовищі (останнє більш суттєве для газів). Наприклад, для води при 20^0C для довжини хвилі 404,7 нм n=1,3428, а для 678,0 нм n=1,3308. Зі збільшенням температури показник заломлення зменшується, але ці зміни показника заломлення є дуже незначними (мільйонні долі на градус).

Добуток показника заломлення на геометричний шлях світлового променю називається оптичною довжиною шляху.

В оптичному волокні показник заломлення серцевини вздовж радіуса поперечного перерізу волокна має бути більшим від показника заломлення оболонки (принаймні в декотрому проміжку зміни радіальної координати точки серцевини).

Залежність величини показника заломлення за радіальною віссю світловода називається профілем показника заломлення (ППЗ), наприклад:



а) сходинковий б) градієнтний

Рисунок 1.2 Профіль показника заломлення

Повний опис процесу розповсюдження світла по волоконному світловоду (ВС) дає хвильова електромагнітна теорія. Вона показує, що розповсюджуватись по волоконному світловоду можуть лише ті типи хвиль, що формують у поперечному перерізі ВС резонансну хвилю. Такі типи хвиль утворюють моди хвилеводу.

Режим роботи ВС (одно - чи багатомодовий) визначається величиною нормованої частоти V:

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{\lambda} \cdot \left(n_1^2 - n_2^2\right)^{0.5}$$

де:

λ – довжина хвилі випромінення оптичного джерела;

a – радіус серцевини ВС;

n_1 – максимальне значення показника заломлення в серцевині;

n_2 – показник заломлення в оболонці.

Якщо 0<V<2,4048, у волокні зі сходинковим профілем показника заломлення виконується одномодовий режим.

За багатомодового режиму у волокні розповсюджується сукупність мод (променів, що введені у волокно (з його торцевої поверхні) під різними кутами). Багатомодові оптичні волокна (в яких на одній довжині хвилі розповсюджується багато мод) описані у рекомендації ITU G.651. Типовими розмірами (діаметр серцевини/діаметр оболонки) для багатомодових оптичних волокон є 50/125 мкм та 62,5/125 мкм. Як правило, багатомодові оптичні волокна мають градієнтний профіль показника заломлення для зменшення міжмодової дисперсії. Найпоширенішою сферою застосування багатомодових оптичних волокон є локальні оптичні мережі.

На відміну від багатомодових одномодові оптичні волокна (в котрих на різних довжинах хвиль розповсюджується одна мода) мають менший діаметр серцевини ((7÷9)/125 мкм). Внаслідок розповсюдження лише однієї моди за одномодового режиму відсутня міжмодова дисперсія, котра суттєво зменшує довжину регенераційної ділянки. Характеристики одномодових оптичних волокон більш детально описані у відповідних розділах нижче.

Ефективність введення оптичного випромінення у світловод характеризує апертура оптичного волокна (параметр має важливе значення для багатомодових волокон)

Для оцінки величини цього параметра використовують поняття числової апертури, що для волокна із сходинковим ППЗ визначається за формулою

$$NA = n_0 \cdot \sin\varphi,$$

де n_0 – показник заломлення середовища, у якому виконуються виміри (для повітря за умови нормального тиску та температури 0^0C показник заломлення n_0=1,000297), а φ – кут між віссю ВС та твірною конуса променів, що виходять з торця на виході світловоду.

Апертурні характеристики ВС визначають діапазон кутів φ, за яких світло розповсюджується без втрат на випромінення в оболонку. Ці кути визначаються

умовою повного внутрішнього відбиття на границі серцевина-оболонка як показано на рисунку 1.3.

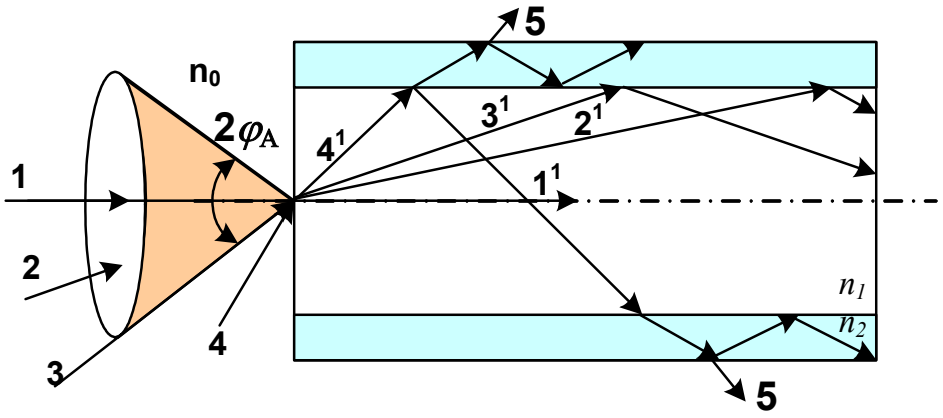


Рисунок. 1.3 Хід променів у ВС за різних кутів падіння

При цьому вісь конуса співпадає з віссю оптичного волокна, а торець оптичного волокна перпендикулярний його осі.

На рисунку:

1,2 – промені, що падають на торець світловоду під кутом $\varphi<\varphi_A$, відбиваються від границі серцевина – оболонка та розповсюджуються у серцевині волокна як промені 1^1 та 2^1. Це так звані "напрямлювані моди" (на рисунку промінь 1^1 осьовий).

3 – промінь, що падає на торець світловоду під кутом $\varphi = \varphi_A$, відбивається від границі серцевина – оболонка у серцевину волокна та розповсюджується у ній. Промінь 3^1 - це також напрямлювана мода.

4 – це промені, що падають на торець світловоду під кутом $\varphi>\varphi_A$, частково відбиваються від границі серцевина – оболонка у серцевину волокна, а здебільшого заломлюються в оболонку, де втрачають свою енергію, не передаючи енергію сигналу, що розповсюджується по ВС. Промені 4^1 – це "витікаючи моди (моди оболонки)". Якщо маємо у якомусь місці згин ВС, то промінь 3^1 після заломлення на границі серцевина – оболонка так само стає частково витікаючою модою.

5 – це промені, що випромінюються з оболонки в оточуюче середовище, тобто "моди випромінення".

При розповсюдженні світла по оптичному волокну відбуваються втрати оптичної потужності.

Втрати світла у волокні можна умовно розділити на втрати у матеріалі волокна та втрати, за рахунок недосконалості границі між серцевиною та оболонкою. Головними є втрати в матеріалі волокна, що визначаються двома причинами — розсіюванням і поглинанням.

Розсіювання (зміна напрямку) світла притаманне всім стеклам і відбувається на оптичних неоднорідностях – флуктуаціях щільності і складу скла (а у волокнах також і на порушенні геометричної форми серцевини і оболонки). При цьому частина оптичної енергії розсіюється відносно напрямку розповсюдження (або покидає волокно) і перетворення енергії відсутнє.

Коли $r«\lambda$ (розмір неоднорідності значно менший за довжину поширюваної хвилі), розсіювання називається Релеєвським і його потужність зменшується із зростанням довжини хвилі пропорційно $1/\lambda^4$. В природі явищем Релеєвського розсіювання пояснюється наприклад, блакитний колір неба, білий колір хмаринок і червоний колір Сонця при його сході та при заході.

При $r\sim\lambda$ має місце розсіювання Мі. В природі цим пояснюється, наприклад, зміна кольору неба від блакитного в зеніті до темного на обрії. Мала або повна непрозорість туману є наслідком сильного розсіювання Мі. Ослаблення світла Сонця на сході та заході також значною мірою зумовлено розсіюванням Мі.

В оптичних волокнах високої якості відсутні неоднорідності розмірів, що можуть бути порівнянні з довжиною хвилі. За своєю природою скло є неупорядкованою структурою, однак мікроскопічні відхилення від середньої щільності матеріалу, а також локальні мікроскопічні зміни у його складі, за своїми розмірами менші за довжину хвилі.

Окрім Релеєвського та Мі розсіювань у оптичному волокні можуть виникати розсіювання, що обумовлені нелінійними ефектами. Це вимушене розсіювання Рамана та вимушене розсіювання Мандельштама-Бріллюена.

Втрати на поглинання зумовлені як власним поглинанням у склі, так і поглинанням через домішки. При цьому частина енергії світла, що розповсюджується в матеріалі, перетворюється на тепло, збільшуючи теплову енергію матеріалу. Лінії поглинання кварцу лежать в ультрафіолетовій частині спектра (переходи між енергетичними рівнями електронів у атомах) та в інфрачервоній (переходи між коливальними рівнями атомів у решітці). Вони розташовані далеко від області спектра, що нас цікавить (0,8 ÷ 1,6 мкм). Однак, власне поглинання настільки велике, що кінці смуг поглинання захоплюють робочу область кварцових волокон за досить низького рівня втрат. Власне поглинання і Релеєвське розсіювання на мікро-флуктуаціях щільності матеріалу кварцового світловоду визначають мінімально досяжні фундаментальні втрати в матеріалі світловоду. На рис. 1.4 показана спектральна характеристика коефіцієнта загасання в кварцовому світловоді з низьким рівнем втрат. Області: I – (820÷860 нм); II – (1280÷1330 нм); II – (1520÷1580 нм) – вікна прозорості.

Крива 1 – ультрафіолетове поглинання в матеріалі, крива – 2 інфрачервоне поглинання, 3 – Релеєвське розсіювання.

Втрати у світловоді збільшуються через наявність домішок. Домішки можуть бути як небажаними, так і спеціально введеними до складу скла. Це необхідно для створення матеріалів з різним значенням показника заломлення – більшим для матеріалу серцевини (цьому слугують оксиди германію чи фосфору) та меншим для матеріалу оболонки волоконного світловоду, що досягається введенням до складу скла фтору чи оксиду бору. Треба зауважити, що домішки бору не застосовують, якщо волоконний світловод буде працювати на довжинах хвиль окіл 1,55 мкм.

Найбільш небажаними є домішки води і перехідних металів першої групи (ванадію, хрому, магнію, залізі, кобальту та нікелю). Довжини хвиль, на яких поглинають домішки металів, залежить від міри окислення іону металу. Для того, щоб приріст поглинання не перевищував 1 дБ/км, концентрація домішок повинна бути нижчого від 10^{-9}.

Наявність іонів гідроксильної групи OH^{-}, що входить до складу води, призводить до збільшення поглинання на довжинах хвиль: 2,37, 1,39, 1, 24, 1,13, 0,95, 0,88, 0,72 мкм. Вони разом з прозорою частиною спектра зумовлюють утворення так званих “вікон прозорості” з мінімальним поглинанням на хвилях довжиною 0,85, 1,3 та 1,55 мкм. Їхня ширина залежить від складу скла серцевини оптичного волокна. На робочих довжинах хвиль 0,8 ÷ 0,9 мкм концентрацію водяних парів достатньо знизити до 10^{-7}. Однак, при λ=1,2 ÷ 1,6 мкм концентрація групи OH^{-} повинна бути не вищою від 10^{-8}. Досягнути цього надзвичайно важко. Однак, останнім часом розроблені оптичні волокна, для яких ця проблема вирішена (крива (5) на рисунку 1.4), що дає можливість відкрити нові робочі діапазони на довжинах хвиль в діапазоні 1350 ÷ 1450 нм. У порівнянні зі звичайними одномодовими волокнами зменшення втрат в межах цього вікна прозорості робить можливим створення ліній передач з більшою довжиною регенераційної ділянки і здійснювати передачу на високій швидкості (10 Гбіт/с) приблизно на вдвічі більшу відстань.

Втрати у волокні збільшуються також через низку причин (крива 6 на рис. 1.4), що зумовлені недостатньо досконалою технологією виготовлення світловодів і кабелів: забрудненням волокон у процесі їхнього витягування, коливанням розмірів поперечного перерізу вздовж світловоду, нерівністю границі серцевина-оболонка, а

також згладжуванням цієї границі під час витягування волокна через дифузію домішок, які вводяться для зміни показника заломлення, виникненням мікро – та макровигинів при виготовленні кабелю.

Експериментальна крива (4) на рис. 1.4 має три локальних мінімуми — вікна прозорості на довжинах хвиль 0,85; 1,3 та 1,55 мкм.

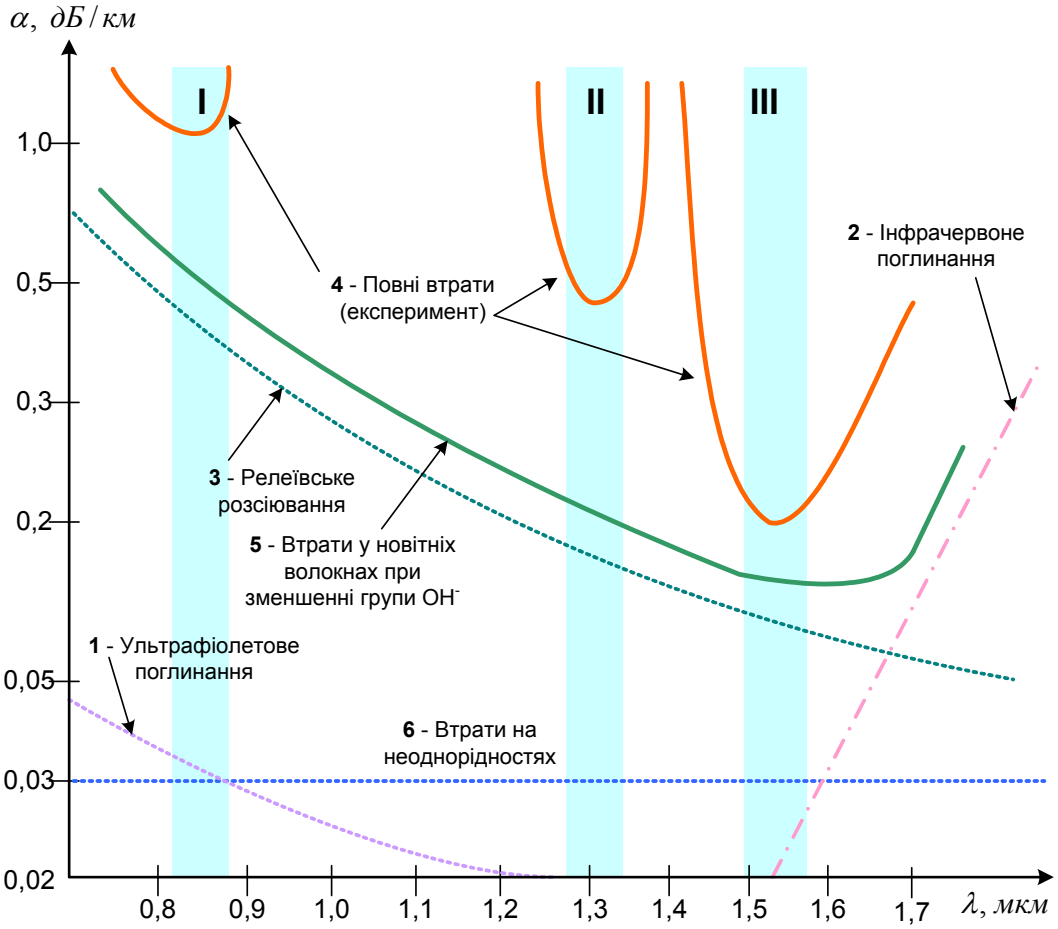


Рисунок 1.4 Спектральна характеристика коефіцієнта загасання в світловоді.

Для визначення втрат оптичної потужності в оптичному волокні необхідно знати потужність (або рівень потужності) на виході волокна, що досліджується, та потужність (або рівень потужності), яка подається у волокно, що досліджується. Загасання у кабелі, що вимірюється, визначають за формулою:

$$A(\lambda) = 10\lg\frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)}$$

де: A(λ) – загасання в оптичному кабелі, дБ.

P_1 та P_2 – відповідно потужності на вході та виході оптичного волокна, що вимірюється, Вт.

λ – довжина хвилі, на якій проведені вимірювання, мкм.

Потужність сигналу часто характеризують по відношенню до 1 мВт, це значення називають рівнем потужності, (рівень потужності визначається в дБм, де літера “м” вказує на величину потужності з якою порівнюють, в даному випадку міліват, інколи рівень потужності є відношенням до 1 нВт і визначається в дБн). Рівень потужності визначається за формулою:

$$p_1 = 10\lg\frac{P_1}{1мВт}, \text{ дБм}$$

де P_1 потужність, що вимірюється у мВт.

Загасання у волокні, що вимірюється, визначають за формулою:

$$A = p_1 - p_2 \text{, дБ}$$

Коефіцієнт загасання у волокні, що вимірюється (довжиною L), визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{A}{L} \text{, (дБ/км)}$$

Розповсюдженню світла в середовищі притаманні такі явища як інтерференція, дифракція, дисперсія, поляризація.

Інтерференція – це зміна середньої щільності потоку енергії, зумовлена суперпозицією (накладанням) електромагнітних хвиль.

Інтерференція хвиль виникає лише тоді, коли хвилі, що взаємодіють, мають однакову частоту і незалежний від часу зсув фаз в кожній точці. Джерела, що випромінюють такі хвилі, називаються когерентними.

Дифракція – це відхилення світлових променів від прямолінійного шляху при проходженні поблизу границі перепон, внаслідок чого хвиля огинає зустрічну перепону (при стуленні вій можна бачити появу різнокольорових смуг, що виникають внаслідок дифракції, вії в даному випадку стають аналогом дифракційної ґратки).

Дисперсія – це залежність показника заломленні від довжини хвилі (частоти). Внаслідок дисперсії хвилі з різною частотою проходитимуть різний оптичний шлях (кутова дисперсія сонячного світла на краплях води після дощу спричиняє райдугу).

Поляризація – це характеристика рівномірності розподілу за напрямком коливань векторів напруженості електричного та магнітного поля електромагнітної хвилі в площині, перпендикулярної до напрямку розповсюдження електромагнітної хвилі.

Світлова хвиля, в котрій напрямок вектора напружності електричного поля змінюється випадковим чином, називається неполяризованим світлом, наприклад сонячне (природне) світло

Хвилі, для котрих вектор напруженості електричного поля буде здійснювати коливання в одній площині на всьому шляху розповсюдження хвилі називають лінійно поляризованими. Площина, в котрій знаходиться вектор напружності електричного поля в лінійно поляризованій хвилі, називається площиною поляризації.

Пристрої, що здійснюють перетворення природного світла в поляризоване світло, називають поляризаторами.

§1.2 Етапи розвитку ВОСП

Друга половина 60-х років минулого сторіччя стала часом розробки практичних вимог до ідеї створення ВОСП (волоконно-оптичні системи передачі), створення перших оптичних волокон із загасанням меншим від 20 дБ/км.

У 70-х роках минулого сторіччя були створені напівпровідникові лазери і лазерні світлодіоди (довжина хвилі випромінення 0,85 мкм) та оптичні волокна із загасанням меншим від 20 дБ/км. Подальший розвиток протікав в напрямку зменшення загасання, для чого розроблялись різні за хімічним складом оптичні волокна, змінювався профіль показника заломлення, вдосконалювалась технологія вироблення оптичних волокон. Джерела випромінення еволюціонували в напрямку збільшення терміну служби та покращення параметрів випромінення (стабільності, вузькосмуговості).

Наступним етапом у розвитку ВОСП стала поява у другій половині 80-х років минулого сторіччя оптичних підсилювачів, що дозволило збільшити протяжність лінійних трактів ВОСП.

Для підвищення ефективності ВОСП в середині 90-х років минулого сторіччя з'явились системи зі спектральним ущільненням – WDM (Wavelength Division Multiplexing). В таких системах використовується можливість незалежної передачі інформації по одному волокну на різних довжинах хвиль.

Фізико-технічні основи спектрального ущільнення оптичних каналів для систем передачі та обробки інформації були розроблені в 1970 - 1980 рр.

Хвильове мультиплексування на початку свого розвитку було об'єднанням двох основних несівних хвиль 1310 нм та 1550 нм (2-ге та 3-тє вікна прозорості, рознесені за довжиною хвилі на 240 нм) в одному оптичному волокні, що дозволяло подвоїти ємність системи.

Розробка оптичних підсилювачів, оптичних мультиплексорів/демультиплексорів, оптичних мультиплексорів введення/виведення – OADM (Optical add drop Multiplexer), оптичних комутаторів, оптичних хвильових конвертерів відкрило шлях для побудови на основі систем WDM повністю оптичних транспортних мереж.

§1.3 Розвиток ВОСП в Україні

Перші магістральні ВОСП в Україні були побудовані в середині 90-х років минулого сторіччя. Етапи розбудови ВОСП в Україні показано в таблиці нижче.

В Україні вже введено в експлуатацію магістральні DWDM, побудовані за кільцевою топологією як показано на рисунку 1.5, окрім магістральних DWDM Укртелекому введена в дію перша лінія Київ — Дніпропетровськ компанією Welcom спільно з компанією Оптіма-Телеком, в планах компаній також продовжувати нарощувати DWDM мережу, окрім цього на мережі існує також обладнання CWDM, тому є практична необхідність розгляду технології WDM більш детально.

Рисунок 1.5

Етапи розбудови ВОСП в Україні

Лінія передачі	Тип лінії	Протяжність, км	Швидкість передачі	Рік побудови
Львів - державний кордон Польщі	ВОЛЗ	130	622 Мбіт/с	1995
Ужгород - державний кордон Словаччини	ВОЛЗ	5	622 Мбіт/с	1995
Ужгород - державний кордон Угорщини	ВОЛЗ	40	622 Мбіт/с	1995
“ITUR” (Італія - Туреччина - Україна - Росія)	морська ВОЛЗ	2874	565 Мбіт/с	1996
“Південь” (Київ - Черкаси - Кіровоград - Одеса - ITUR)	ВОЛЗ	1050	622 Мбіт/с 2,5 Гбіт/с	1996 2002
Чернівці - державний кордон Румунії	ВОЛЗ	39	622 Мбіт/с	1996
Чернівці - державний кордон Молдови	ВОЛЗ	62	622 Мбіт/с	1996

Лінія передачі	Тип лінії	Протяжність, км	Швидкість передачі	Рік побудови
“Захід” (Київ - Вінниця - Хмельницький - Тернопіль - Львів)	ВОЛЗ	800	2,5 Гбіт/с	1997
“Схід” (Харків - Полтава - Миргород - Пирятин)	ВОЛЗ	376	622 Мбіт/с	1998
Суми - Харків	ВОЛЗ	275	622 Мбіт/с	1998
Одеса - державний кордон Молдови	ВОЛЗ	69	155 Мбіт/с	1998
Харків - державний кордон Росії	ВОЛЗ	206	622 Мбіт/с	1999
“Дніпро-Донбас” (Київ - Дніпропетровськ - Запоріжжя - Донецьк - Луганськ)	ВОЛЗ	1036	2,5 Гбіт/с	2000
Луганськ - державний кордон Росії	ВОЛЗ	173	622 Мбіт/с	2000
“Таврія” (Миколаїв - Херсон - Сімферополь - Севастополь)	ВОЛЗ	1020	2,5 Гбіт/с	2001
“BSFOCS” (Болгарія - Україна - Росія)	морська ВОЛЗ	1485	2,5 Гбіт/с	2001
“Дністер” (Київ - Вінниця - Одеса)	ВОЛЗ	779	2,5 Гбіт/с	2002
Ялта - Алушта	підвісна ВОЛЗ	38	155 Мбіт/с	2002
Ужгород -державний кордон Словаччини	ВОЛЗ	16	622 Мбіт/с	2003
“Поділля” (Вінниця - Чернівці)	ВОЛЗ	350	2,5 Гбіт/с	2003
“Полісся” (Львів - Луцьк - Рівне - Житомир)	ВОЛЗ	477	155 Мбіт/с	2003
"Карпати" (Львів-Ужгород)	ВОЛЗ	290	2,5 Гбіт/с	2003
"Азов" (Донецьк-Маріуполь-Бердянськ-Мелітополь)	ВОЛЗ	338	622 Мбіт/с	2003
"Січ" (Запоріжжя-Мелітополь)	ВОЛЗ	137	622 Мбіт/с	2003
"Десна" (Чернігів-Суми)	ВОЛЗ	376	155 Мбіт/с	2003
Чернівці-Тернопіль	ВОЛЗ	150	155 Мбіт/с	2003
Луцьк-Ковель-державний кордон Польщі	ВОЛЗ	80	155 Мбіт/с	2003
“Вуглик” (Харків-Луганськ, транспортне кільце Харків-Луганськ-Донецьк-Запоріжжя-Дніпропетровськ - Полтава - Харків)	ВОЛЗ	500	2,5 Гбіт/с	2004
“Полісся” (Київ - Житомир - Рівне - Луцьк - Львів)	ВОЛЗ	660	155 Мбіт/с	2004
"Січ" (Мелітополь - Джанкой - Сімферополь)	ВОЛЗ	335	2,5 Гбіт/с	2004
Ковель - державний кордон Білорусі	ВОЛЗ	75	622 Мбіт/с	2004
“Поділля” (Чернівці - Івано-Франківськ)	ВОЛЗ	150	2,5 Гбіт/с	2004
Івано-Франківськ - Львів	ВОЛЗ	260	2,5 Гбіт/с	2004
“Центр” (Кіровоград - Вінниця)	ВОЛЗ	240	2,5 Гбіт/с	2004
“Буковина” (Чернівці - Рахів - Ужгород)	ВОЛЗ	590	2,5 Гбіт/с	2004

§1.4 Будівництво ВОСП

Будівництво ВОСП здійснюється наступними етапами:

1. Розробка технічного завдання.
2. Розробка проектної документації.
3. Прокладка та монтаж кабелю, встановлення обладнання системи передач.
4. Прийом лінії в експлуатацію.

Розробка технічного завдання здійснюється після отримання замовлення на будівництво ВОСП. Під час створення технічного завдання визначаються із базовими принципами побудови ВОСП, здійснюється вибір системи передачі, вибір траси, вибір типу кабелю, визначення загального вартості будівництва.

Після затвердження технічного завдання розробляється проектна документація. Проектна документація містить в собі робочі креслення траси прокладання кабелю та лінійних споруд, креслення на розміщення і встановлення прикінцевого обладнання, кошторис на будівництво ВОСП.

За умовами прокладання кабелю виділяють:

- Прокладання кабелю в ґрунт. (За допомогою кабелеукладачів, екскаваторів, траншеєкопачів або вручну)
- Прокладання кабелю по дну водоймищ та через водні перешкоди (За допомогою морських або річкових кабелеукладачів)
- Прокладання кабелю з підвішуванням його на опорах ліній електропередачі (ЛЕП), на опорах електрифікованих залізниць, на опорах повітряних ліній зв'язку. (При прокладанні кабелю на опорах ЛЕП виділяють наступні методи прокладання – волоконно-оптичний кабель вмонтовується в грозозахисний або фазовий провід, волоконно-оптичний кабель навивається навколо фазового проводу за допомогою спеціальних навивальних машин, волоконно-оптичний кабель містить в своїй конструкції елемент, котрий кріпиться до опор ЛЕП (самонесучий кабель)
- Прокладання кабелю в кабельну каналізацію, тунелі метрополітену, колектори.
- Прокладання кабелю в будинках, де міститься прикінцеве обладнання.

При монтажі оптичного кабелю здійснюється зрощування оптичних волокон та відновлення захисних оболонок кабелю (встановленням муфти)

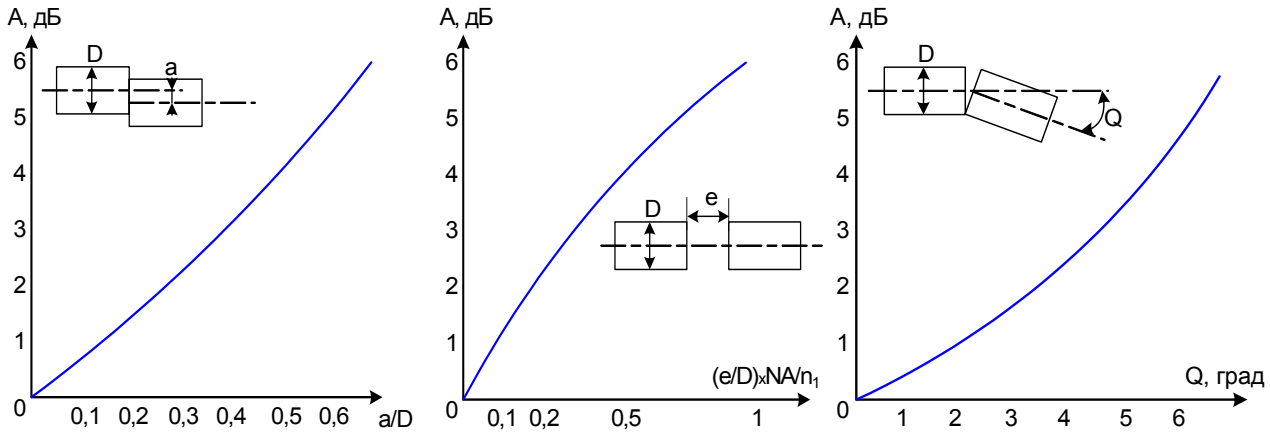
До з'єднання оптичних волокон висуваються такі вимоги:

1) Малі втрати, що вносяться з'єднанням;
2) Простота методу з'єднування та конструкції з'єднувача;
3) Невеликий час, що витрачається на з'єднування волокон;
4) Добрий захист зростка (стійкість до механічних та кліматичних впливів);
5) Можливість точного юстування та фіксації з'єднуваних ВС;
6) Довговічність.

Виділяють наступні типи з'єднань:

- Рознімні з'єднання (різні типи механічних з'єднувачів, конектори (більш докладно дивись §3.16)
- Нерознімні з'єднання (електродугове зварювання, склеювання, різні типи не рознімних механічних з'єднувачів (загальний вигляд показано на рисунку 1.6.1)

Якість з'єднання оптичних волокон сильно впливає на величину втрат в місці з'єднання (рис.1.6):



а) поперечний зсув б) осьовий зсув (щілина) в) кутовий зсув

(при механічних з'єднаннях)

Рисунок 1.6 Вплив якості з'єднання на величину втрат на з'єднанні.

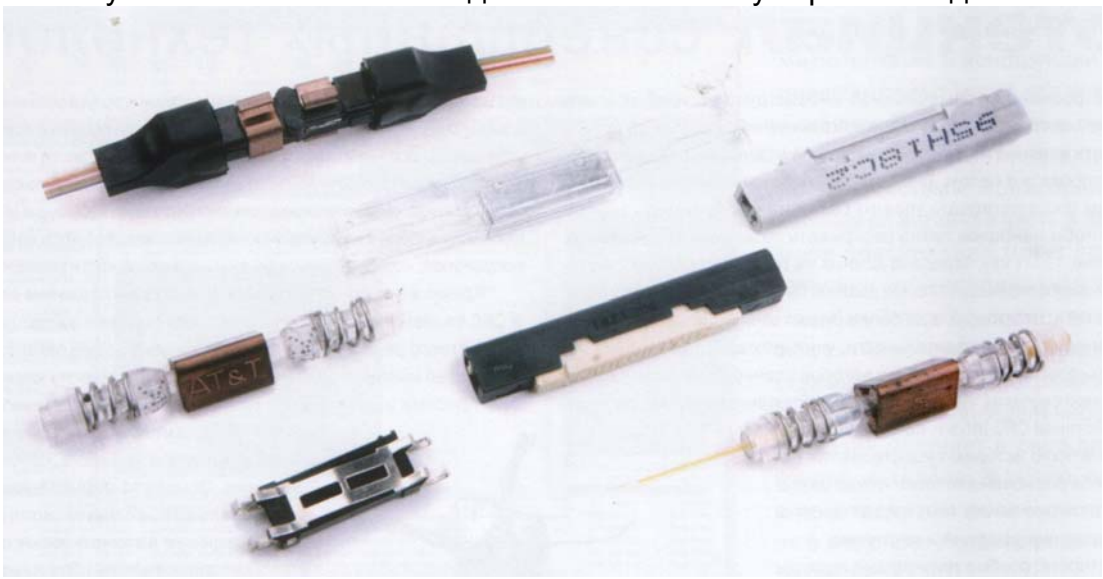


Рисунок 1.6.1 Різні типи не рознімних механічних з'єднувачів

На величину втрат на з'єднанні впливає також втрати:

Втрати за умови з'єднань волокон з різними числовими апертурами, коли числова апертура волокна, з якого сигнал виходить (NA_1), більша від апертури волокна, в котре сигнал входить (NA_2)

$$A_{NA} = 10 \cdot \lg\left(\frac{NA_1}{NA_2}\right)^2$$

Втрати в наслідок різних діаметрів з'єднуваних волокон, коли діаметр волокна, з якого сигнал виходить (D_1), більший від діаметра волокна, в котре сигнал входить (D_2).

$$A_D = 10 \cdot \lg\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

Втрати внаслідок не концентричності серцевини і оболонки волокон, що з'єднуються.

Втрати внаслідок некруглості серцевини і оболонки волокон, що з'єднуються.

Втрати внаслідок відхилень товщини оболонки волокон.

Прокладання кабелю в ґрунт:

Прокладання оптичного кабелю в ґрунт здійснюється безтраншейним способом за допомогою кабелеукладача або у заздалегідь приготовану траншею, викопану вручну чи механізованим способом (траншеєкопачем, екскаватором)

Глибина прокладки підземних оптичних кабелів (броньованих та неброньованих) в ґрунтах 1-4 групи повинна бути 1,2 м – для оптичних кабелів магістральної первинної мережі, внутрішньозонових оптичних кабелів, для оптичних кабелів, що прокладаються поза населеними пунктами, та оптичних кабелів, що прокладаються на з`єднувальних кабельних лініях ;

В скельних ґрунтах 5-ї групи й вище, та ґрунтах 4-ї групи, які розробляються вибуховим методом, відбивними молотками чи іншими машинами та механізмами, кабелі слід прокладати в траншею з виконанням підкладки та верхнього покривного шару з розпушеної землі по 10 см кожен.

При перехрещенні автомобільних та залізничних доріг, проїзних частин вулиць і трамвайних шляхів кабелі слід прокладати в азбоцементних або поліетиленових трубах діаметром 100 мм з виводом по обидва боки від підошви насипу чи польової бровки на довжину не менше 1 м.

Кількість труб, що прокладається на переходах, визначає кількість потрібних резервних труб:

Кількість труб, які прокладаються через автомобільні та залізничні дороги	Кількість резервних труб
Від 1 до 3	1
Від 4 до 8	2

В ґрунтах, що схильні до зсувів, прокладання кабелю не дозволяється.

При виборі місця побудови кабельного переходу через залізничні і автомобільні дороги й трамвайні шляхи необхідно додержуватися вимог:

- Довжина переходу повинна бути найменшою. При цьому слід враховувати перспективу розвитку залізничної мережі або розширення автодорожнього проїзду;
- Кут перехрещення трубопроводу (блоку труб) повинен бути 90°±10°.

Перетин підземних комунікацій (водоводів, газопроводів, нафтопроводів, аміакопроводів, інших кабельних комунікацій) здійснюється з заглибленням під ці комунікації, з позначкою місця перетину стовпчиками, що містять інформацію про експлуатуючу організацію. Роботи на таких переходах проводяться виключно в присутності представників організації, котра експлуатує комунікацію, яку перетинають, та з обов’язковим визначенням місця залягання цієї комунікації на місцевості.

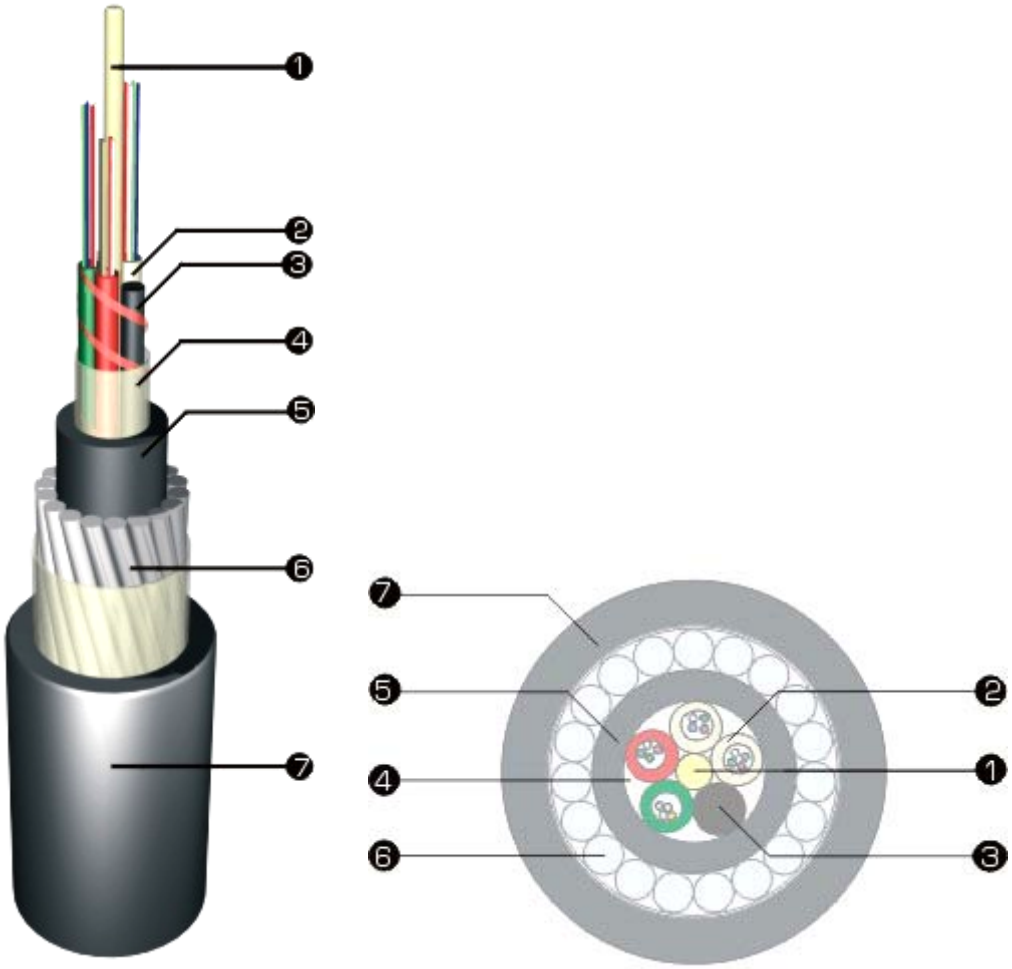


Рисунок 1.7 Приклад конструкції оптичного кабелю для прокладання в ґрунт
1 — центральний силовий елемент
2 — модуль з оптичними волокнами
3 — кордель заповнення (для щільного укладання елементів в осерді ОК, якщо більшої кількості модулів з оптичними волокнами не потрібно)
4 — гідрофобний заповнювач (заповнює всі порожнини оптичного кабелю)
5 — внутрішня поліетиленова оболонка
6 — броня з круглих сталевих дротів
7 — зовнішня поліетиленова оболонка

Прокладання кабелю по дну водоймищ та через водні перешкоди:

Для прокладання кабелів по дну морів використовують спеціальні кабелі з високоміцною конструкцією. Прокладання здійснюється з допомогою морських кабелеукладчів (спеціалізоване судно).

При переході кабелем сплавних та суднохідних річок місця кабельного переходу повинно обиратися, виходячи з наступних вимог:

Місця переходів повинні розміщуватися, по можливості, на прямолінійній ділянці річки мінімальної ширини з не розмивним руслом і пологими берегами, не в місці зупинки суден, плотів, головних споруд водозабору, поромних переправ, місць добування гравію, піску, корисних копалин, місць заторів льоду і водопою худоби, та з урахуванням нанесення найменшого збитку навколишньому середовищу при будівництві. При неможливості вибору місця переходу з урахуванням перерахованих вимог, в проекті повинні бути передбачені заходи з укріплення берегів підводної й надводної частин та можливість виконання днопоглиблювальних робіт;

Траса кабелю через судоходні та сплавні річки повинна проходити нижче автомобільних й залізничних мостів на дорогах магістрального призначення. При

відсутності на річках льодоходів та заторів льоду, місце переходу (вище чи нижче мосту) визначається проектом залежно від гідрогеологічних особливостей й характеристики даної річки, із забезпеченням найменших затрат по влаштуванні річкового кабельного переходу та застосування найбільш досконалих механізмів при будівництві, зручності експлуатації.

Кабельні переходи через водні перешкоди, залежно від призначення кабельних ліній і місцевих умов, можуть виконуватися:

- під водою (із заглибленням у дно і без заглиблення);
- по мостах;
- на штучних спорудах (опори і т. ін.).

Улаштування кабельних переходів через русло водної перешкоди може бути виконане одним із способів:

- кабелеукладачем;
- кабелеукладачем на довгому тросі;
- засобами гідромеханізації;
- з використанням установок горизонтально-напрямленого буріння.

Вибір способу виконання переходу залежить від гідрогеологічних умов на водній перешкоді.

Проектом, за необхідності, повинні передбачатися рішення щодо укріплення берегів в місцях улаштування підводного переходу та рішення із запобігання стоку води вздовж кабелю (улаштування нагірних канав, глиняних перемичок, водовідних каналів і т. ін.).

Відстань траси переходу кабельних ліній зв’язку від мостів, автомобільних доріг та залізниць повинна бути не менше:

- 300м – на судноплавних ділянках внутрішніх водних шляхів;
- 50м – на несудноплавних ділянках внутрішніх водних шляхів та інших водних перешкодах.

На кабельних переходах з двома створами (основний та резервний), довжина обох кабелів повинна бути однаковою. За неможливості дотримання цієї вимоги, відхилення довжин кабелів в створах вирішується проектом.

На судноплавних ділянках водних шляхів, незалежно від глибини, та на несудноплавних ділянках водних шляхів, й інших водоймищ глибиною до 3-х метрів від робочого горизонту води, кабелі зв’язку необхідно прокладати із заглибленням в дно річки. При перетині водних перешкод, дно яких складається із скельних порід, заглиблення кабелю в материкову породу має бути не меншим від 0,5 м. В заплавній частині підводний кабель до стику з підземним повинен прокладатися на глибині не меншій від глибини прокладання підземного кабелю. Необхідність більшого заглиблення кабелю визначається проектом.

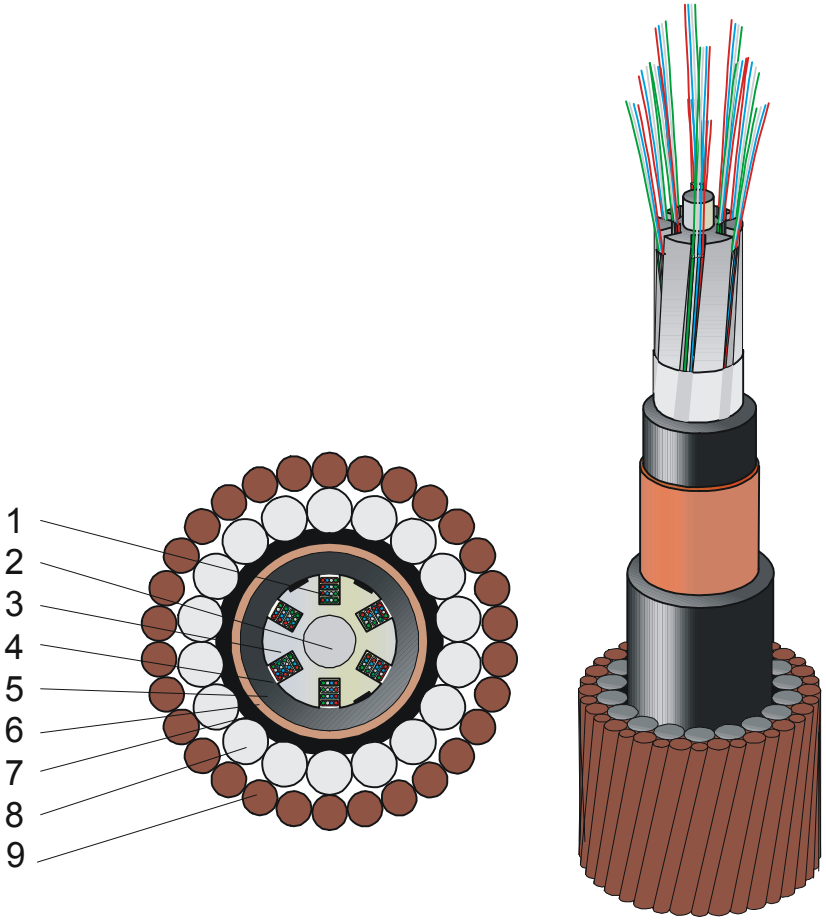


Рисунок 1.8 Приклад конструкції оптичного кабелю для прокладання по дну морів

1 — оптичне волокно, укладене стрічками в пази профільованого діелектричного стрижня

2 — центральний силовий елемент

3 — профільований діелектричний стрижень

4 — гідрофобний заповнювач (заповнює всі порожнини оптичного кабелю)

5 — внутрішня поліетиленова оболонка

6 — водоблокуюча оболонка

7 — зовнішня поліетиленова оболонка

8 — броня з круглих сталевих дротів

9 — повив з пучків синтетичних ниток для захисту бронепокриву від корозії

Прокладання кабелю в кабельній каналізації:

При прокладанні оптичного кабелю в кабельну каналізацію потрібно контролювати тягове зусилля, котре не повинне перевищувати нормованого значення на кабель.

При наявності поворотів на трасі кабельної каналізації, барабан з оптичним кабелем потрібно розташовувати безпосередньо по ходу повороту для зниження тягових зусиль на оптичний кабель при прокладанні. Секції довжиною більшою від 1 км прокладають, розміщуючи барабан з кабелем в середині секції, прокладанням в одну сторону половини будівельної довжини і перемоткою іншої частини (або розмотуванням з укладанням “вісімкою”) та наступним прокладанням цієї частини будівельної довжини в другу сторону, це також зменшуватиме тягове зусилля на оптичний кабель.

При прокладанні оптичного кабелю в кабельну каналізацію використовують направляючі пристрої (ролики, коліна та інші), що убезпечує оптичний кабель від пошкоджень при вводі в кабельну каналізацію.

При прокладанні оптичного кабелю не варто використовувати змазку для уникнення приклеювання кабелю до каналу кабельної каналізації, та забезпечення цілісності оболонок кабелю, котрі можуть бути зруйновані змазкою.

Прокладання небронюваних оптичних кабелів в каналі, зайнятому електричними кабелями, повинно виконуватися у заздалегідь прокладеній поліетиленовій трубці.

Оптичні кабелі з бронею із зовнішнім захисним шлангом поверх броні можуть прокладатися як у вільних, так і у зайнятих каналах, без прокладання поліетиленової трубки.

Використовувати зайнятий оптичними кабелями канал для прокладання електричних кабелів заборонено.

В тунелях метрополітену і колекторах оптичні кабелі зв'язку повинні прокладатися броньованими із зовнішніми оболонками, що не розповсюджують горіння.

На трасі кабельної каналізації встановлюють оглядові пристрої: кабельні колодці зв'язку (ККЗ) та кабельні колодці зв'язку спеціального типу (ККЗС).

Оглядові пристрої (колодці) кабельної каналізації повинні встановлюватись:

- Прохідні – на прямолінійних ділянках трас, а також при зміні глибини залягання трубопроводу;
- Кутові – в місцях повороту траси більш ніж на 15^0;
- Розгалужувальні – в місцях розгалуження траси на кілька напрямів;
- Станційні – в місцях вводу кабелів в будівлі станцій.

Типи оглядових пристроїв (колодців) кабельної каналізації визначаються ємністю ввідних в них труб чи блоків, з урахуванням перспективи розвитку мережі.

Тип оглядового пристрою (колодця)	Максимальна ємність блоку, що вводиться до колодця	Число каналів в основі блоку
ККЗ-1	1	1
ККЗ-2	2	2
ККЗ-3	6	2; 3
ККЗ-4	12	2; 3; 4
ККЗ-5	24	4; 6
Станційний оглядовий пристрій ККЗСр-1	36	
Станційний оглядовий пристрій ККЗСр-2	48	

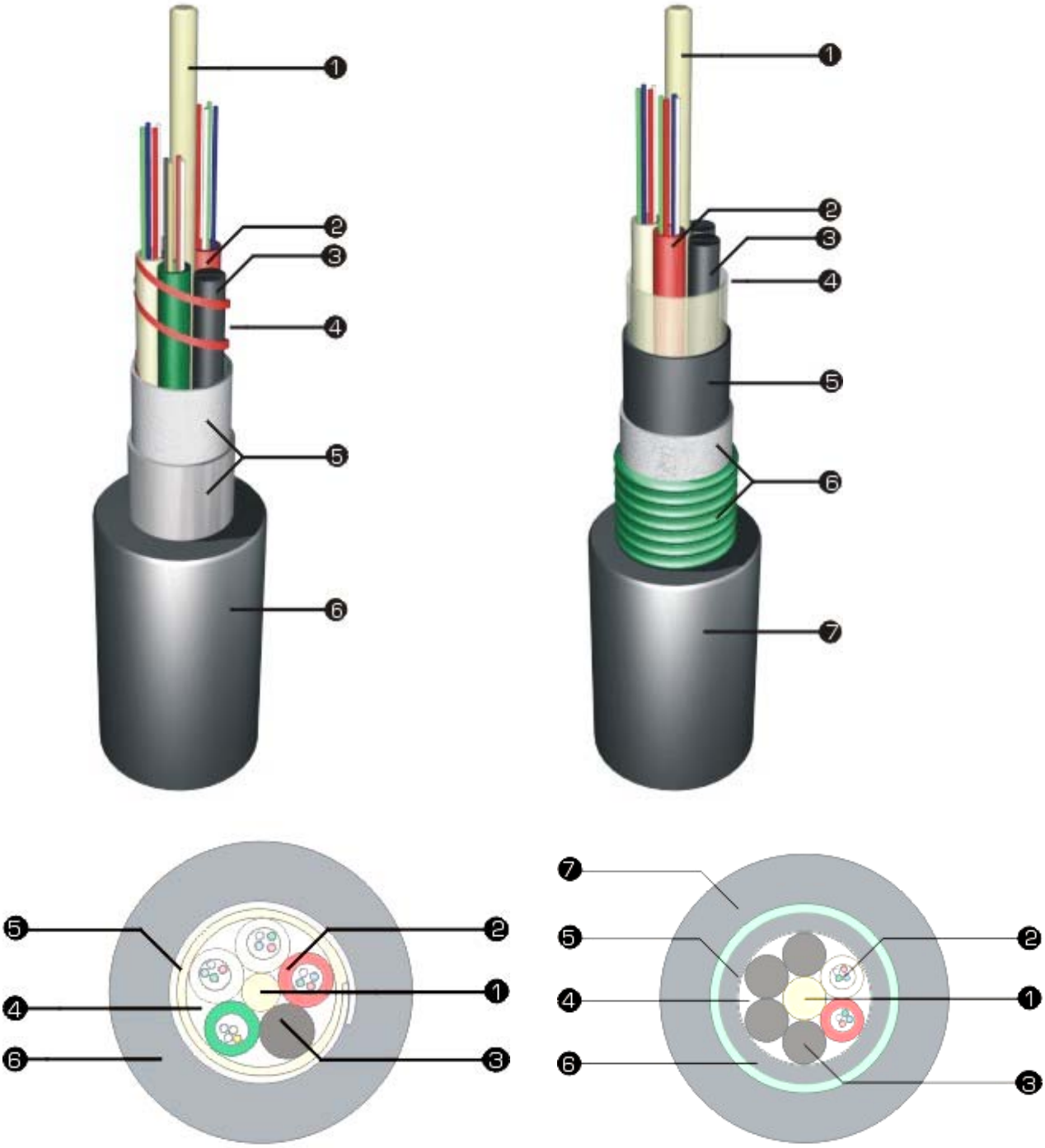


Рисунок 1.9 Приклад конструкції оптичного кабелю для прокладання в кабельній каналізації

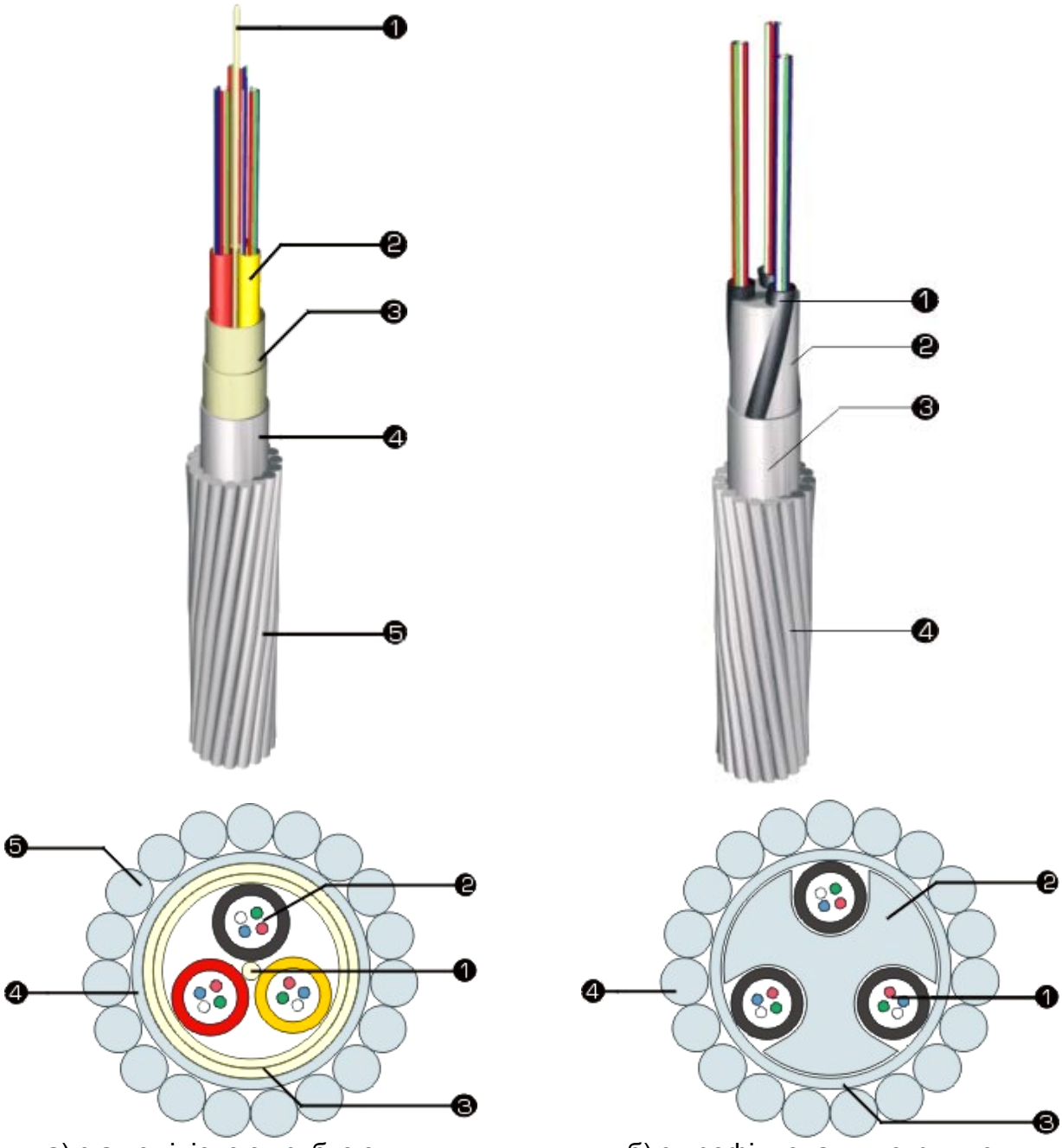
1 — центральний силовий елемент
2 — модуль з оптичними волокнами
3 — кордель заповнення (для щільного укладання елементів в осерді ОК, якщо більшої кількості модулів з оптичними волокнами не потрібно)
4 — гідрофобний заповнювач
5 — водоблокуюча стрічка та алюмінієва скріплююча стрічка
6 — зовнішня поліетиленова оболонка

1 — центральний силовий елемент
2 — модуль з оптичними волокнами
3 — кордель заповнення
4 — гідрофобний заповнювач
5 — внутрішня поліетиленова оболонка
6 — водоблокуюча стрічка та гофрована сталева стрічка для захисту від пошкоджень кабелю гризунами
7 — зовнішня поліетиленова оболонка

Прокладання оптичного кабелю на опорах ЛЕП

Прокладання оптичного кабелю на опорах ЛЕП здійснюється наступними способами:

1. Прокладання оптичного кабелю, вмонтованого в грозозахисний трос або вмонтованого у фазовий провід.



а) з алюмінієвою трубкою

б) з профільованим стрижнем

Рисунок 1.10 Приклад конструкції оптичного кабелю, вмонтованого в грозозахисний трос

1 — діелектричний центральний силовий елемент
2 — оптичні волокна
3 — скріплююча стрічка
4 — алюмінієва трубка
5 — повив зі сталевих та алюмінієвих дротів

1 — оптичні волокна
2 — алюмінієвий (сталевий) профільований стрижень
3 — алюмінієва трубка
4 — повив зі сталевих та алюмінієвих дротів

Профільований стрижень краще захищає оптичні волокна, ніж алюмінієва трубка. Трубка не має опори для радіальних навантажень, внаслідок чого трубка може змінити форму. Після проходження струму нагрів іде у алюмінієве профільоване осердя, котре ефективно захищає волокна від виникнення місць з високою температурою.

Такі кабелі та методика їх тестування описані у стандарті IEEE 1138.

2. Прокладання самонесучого оптичного кабелю

Такі оптичні кабелі як правило використовують на ЛЕП низької напруги (до 150 кВ). Кабель підвішується на опорах ЛЕП нижче від фазових проводів. Важливою характеристикою конструкцій таких кабелів є допустимі механічні навантаження (вітрове навантаження, навантаження внаслідок обледеніння, навантаження від власної ваги). Внаслідок виникнення індукції від підвішених вище паралельних фазових проводів використання металевих елементів не рекомендується.

Для зменшення навантаження від власної ваги (внаслідок наявності великих прольотів між опорами ЛЕП) використовують встановлення додаткових опор.

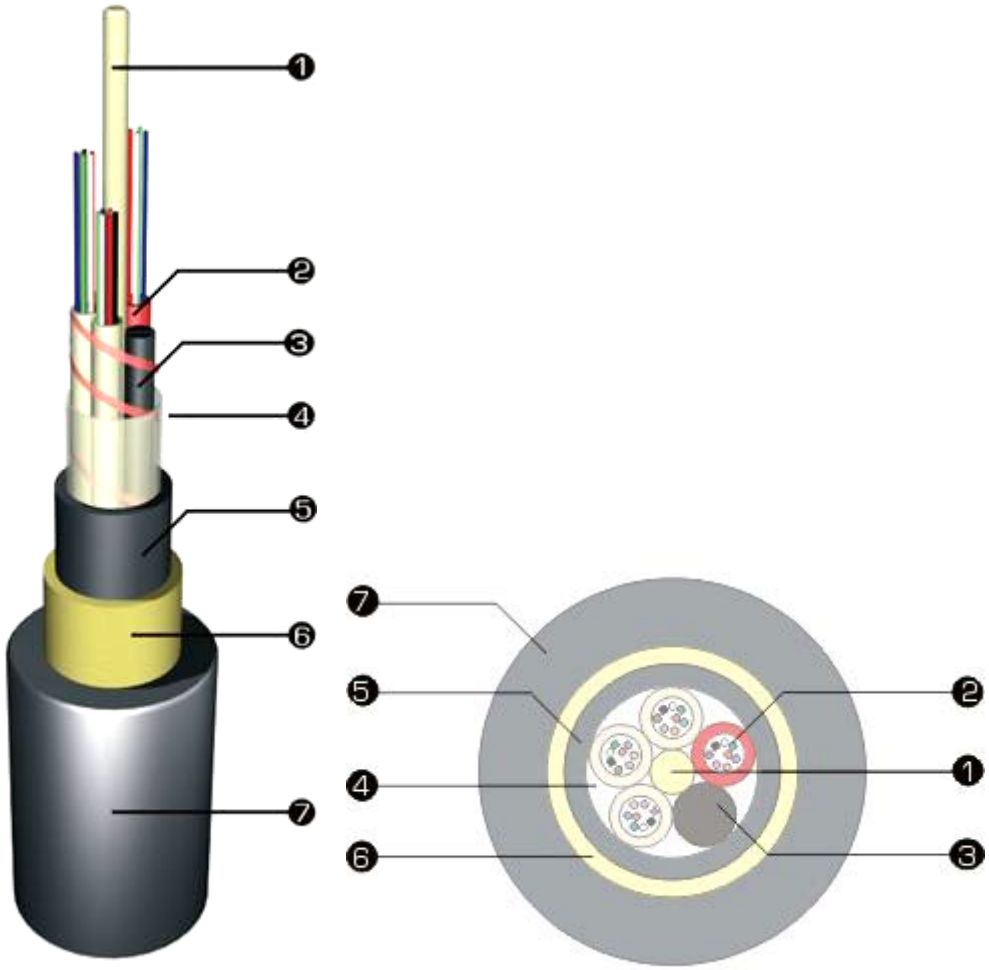


Рисунок 1.11 Приклад конструкції оптичного кабелю самонесучого діелектричного

1 — центральний силовий елемент

2 — модуль з оптичними волокнами

3 — кордель заповнення (для щільного укладання елементів в осерді ОК, якщо більшої кількості модулів з оптичними волокнами не потрібно)

4 — гідрофобний заповнювач

5 — внутрішня поліетиленова оболонка

6 — повив з синтетичних ниток

7 — зовнішня поліетиленова оболонка

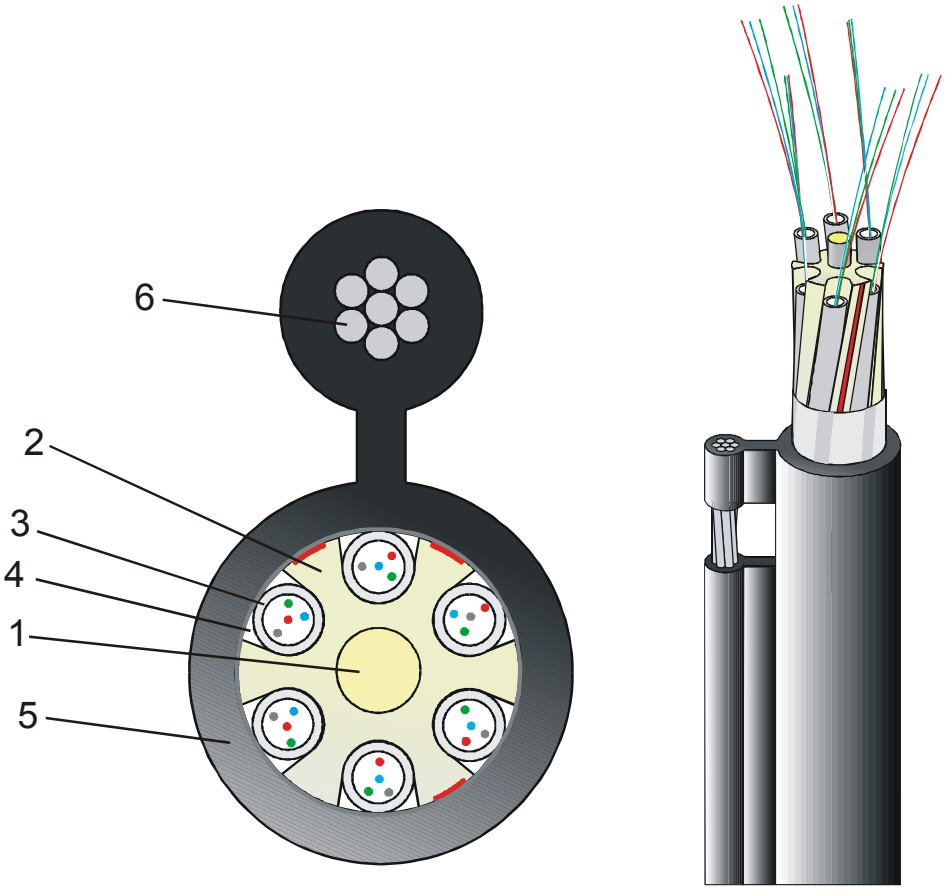


Рисунок 1.12 Приклад конструкцій оптичного кабелю самонесучого з вбудованим сталевим тросом

1 — центральний силовий елемент
2 — профільований діелектричний стрижень
3 — модуль з оптичними волокнами
4 — гідрофобний заповнювач
5 — зовнішня поліетиленова оболонка
6 — сталевий трос, вбудований у зовнішню поліетиленову оболонку (для підвісу на опори ЛЕП або опори повітряних ліній зв'язку)

3. Прокладання оптичного кабелю під'єднанням його до грозозахисного або фазового проводів

Розроблялись різноманітні методи кріплення кабелю до проводів ЛЕП: кріплення за допомогою липкої стрічки, кріплення за допомогою затискачів, навив навколо проводу ЛЕП. Найбільш поширеним став метод навиву оптичного кабелю навколо фазового проводу або грозозахисного тросу. Такий спосіб прокладання кабелю дає змогу уникнути заміни існуючих на ЛЕП грозозахисних тросів та фазових дротів і не потребує встановлення додаткових опор як у випадку підвісного самонесучого оптичного кабелю, але у випадку заміни проводу, навколо якого навито оптичний кабель, останній доведеться знімати та прокладати заново. Навив здійснюється за допомогою спеціальної машини.

Технологія навиву застосовується на ЛЕП з напругою до 175 кВ.

В залежності від реальних умов проходження траси, марки кабелю і технічних можливостей експлуатаційного підприємства траса кабелю на місцевості позначається:

- встановленням замірних стовпчиків (попереджувальних знаків);
- спеціальними пасивними маркерами;

- прокладанням спеціального проводу над діелектричним оптичним кабелем;
- прокладанням над кабелем сигнально-інформаційних пластикових стрічок.

Встановлення залізобетонних замірних стовпчиків повинно передбачатися відповідно до вимог КНД 45-112 (Правила технічної експлуатації первинної мережі ЄНСЗ) та “Правил охорони ліній зв’язку”.

Пасивні маркери встановлюються над оптичними кабелями на прямолінійних ділянках траси через 50÷100 м, та на кожній муфті, на кожному повороті, перетині з підземними комунікаціями, автомобільними дорогами і залізничними коліями, річками, на криволінійних ділянках траси в місцях відхилення траси від прямої лінії більшим від 1м.

Закладання маркерів в ґрунт передбачається на глибину 0,6 м за глибини прокладання кабелю 1,2 м та не менше 0,4 м у разі прокладання кабелю в скельних ґрунтах 5-ї групи і вище. В процесі будівництва глибина закладання маркера може бути змінена в залежності від технічних характеристик маркерів і їх локаторів (приладів для визначення місця встановлення маркерів)

Норми потрібної кількості кабелю на 1км траси враховують запас кабелю на нерівність місцевості, викладання кабелю в котлованах, колодязях, а також розподілення кінців кабелю для проведення електричних вимірювань і зрощування будівельних довжин.

Місце прокладання оптичного кабелю	Витрати кабелю на 1км траси, км
В ґрунті	1,024
В кабельній каналізації	1,057
В тунелі	1,01
Через водні перешкоди	визначається проектом
Підвішування на опорах повітряних ліній	1,025

Після завершення монтажу проводиться тестування обладнання та введення його у експлуатацію.

§1.5 SDH, ATM, Ethernet.

Технологія SDH (Synchronous Digital Hierarchy) базується на двох базових принципах:

1) В якості вхідних сигналів використовуються і підтримуються лише сигнали зі стандартизованою швидкістю (для PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) це 2,048 Мбіт/с ±102.4 біт/с; 8,448 Мбіт/с ±253.4 біт/с; 34,368 Мбіт/с ±688 біт/с; 139,264 Мбіт/с ±2089 біт/с, для SDH це 155,52 Мбіт/с ±3111 біт/с; 622,08 Мбіт/с; 2488,32 Мбіт/с; 9953,28 Мбіт/с; 39813,12 Мбіт/с). Відхилення швидкості в даному випадку вказані згідно з рекомендацією ITU G.703. Відхилення швидкостей для інших вхідних сигналів нормується в рекомендаціях G.825; G.813 і залежить від типу генераторного обладнання синхронізації. Вказана величина відхилення для сигналу 155,52 Мбіт/с за рекомендацією G.703 відповідає другому типу за рекомендаціями G.825; G.813.
2) Вхідні сигнали ряду PDH об'єднуються у віртуальні контейнери, що мають заголовок і мультиплексуються у STM-1 (Synhronous Transport Module) (синхронний транспортний модуль першого рівня ієрархії SDH), котрий відповідає вхідному сигналу SDH 155,52 Мбіт/с. Так само інші вхідні сигнали SDH мультилексуються у синхронні транспортні модулі вищих рівнів 4STM-1= STM-4; 4STM-4= STM-16; 4STM-16= STM-64; 4STM-64= STM-256. Це відповідає вхідним сигналам SDH 622,08 Мбіт/с; 2488,32 Мбіт/с; 9953,28 Мбіт/с та 39813,12 Мбіт/с відповідно.

Технологія SDH описана рекомендаціями ITU: G.691; G.693; G.707; G.774; G.780; G.781; G.783; G.784; G.803; G.805; G.813; G.825; G.826; G.829; G.841; G.842; G.957; M.1301; M.2101, а також частково – доповненням G.Sup39.

В технології SDH реалізовано принцип TDM (Time Division Multiplexing) (часове розділення каналів), за котрим кожне вхідне повідомлення від різних користувачів має свій проміжок часу для передачі (комутація каналів).

На відміну від цього в технології ATM (Asynchronous Transfer Mode) (Асинхронний режим переносу) реалізовано принцип швидкої комутації пакетів.

Суть технології ATM полягає в передаванні повідомлень від різних користувачів пакетами фіксованої тривалості (комірками). Комірка має тривалість 53 байта, 48 з яких складають дані повідомлення користувача та 5 байтів заголовку.

Технологія ATM описана стандартами ITU: I.326; I.356; I.361; I.363.x; I.365.x; I.371.x; I.381; I.431; I.480, I.630; I.731; I.732; I.74; I.751; I.761; I.762; G.983.x; M.2201.

Технологія Ethernet описана стандартами IEEE 802.x, та рекомендаціями ITU: G.985; G.7041; G.8010/Y.1306; G.8011/Y.1307; G.8012/Y.1308-1; G.8021/Y.1341. Нині Ethernet є домінуючою технологією в локальних мережах. Ethernet є простою та недорогою технологією для передачі даних на короткі та середні (до сотень кілометрів) відстані. Інтеграція Ethernet в такі мережні елементи як мультиплексори введення/виведення SDH та оптичні лінійні системи WDM дають значний економічний ефект. Сучасні оптичні інтерфейси Ethernet в обладнанні SDH підтримують швидкість 100 Мбіт/с; 1 Гбіт/с; 10 Гбіт/с. Для об'єднання оптичних потоків Ethernet у стандартні транспортні модулі обладнання SDH використовують combiner (комбайнери (об'єднувачі)). WDM є найкращою технологією для передачі 10 Гбіт/с потоків Ethernet. На ринку обладнання широко використовуються такі інтерфейси Ethernet як 1 Гбіт/с. Як правило використовуються такі прийомопередавачі для наступних інтерфейсів:

- 1000Base-SX: працює на довжині хвилі 850 нм по кабелях з багатомодовими оптичними волокнами, для зв'язку на невеликі відстані
- 1000Base-LX: працює на довжині хвилі 1310 нм по кабелях з одномодовими оптичними волокнами, для зв'язку на відстані до 10 км
- 1000Base-ZX: працює на довжині хвилі 1550 нм по кабелях з одномодовими оптичними волокнами, для зв'язку на відстані до 80 км

Розділ 2 Технологія WDM

§2.1 Відмінності WDM та TDM

Сучасна мережа SDH, побудована на базі TDM, дійшовши до швидкості передавання 10 Гбіт/с, зіштовхнулась з проблемами хроматичної та поляризаційної дисперсії моди, котрі на швидкості, вищій від 10 Гбіт/с, починають суттєво впливати на якість передачі. Таким чином, розширення пропускної здатності за допомогою TDM виявляється досить проблематичним.

У технології WDM немає багатьох обмежень і ускладнень, властивих технології TDM. Для підвищення пропускної здатності ліній зв'язку замість збільшення швидкості передачі у оптичному каналі, як це робиться в системах TDM, в системах WDM йдуть шляхом збільшення числа каналів (котрі передаються на різних довжинах хвиль), що застосовуються у системах передачі.

Для систем WDM є неважливим формат даних, що передається у груповому сигналі. На відміну від SDH сигнал, що транспортується в груповому потоці WDM систем, не піддається пакуванню в контейнери, тому в груповому потоці WDM можна безпосередньо передавати різнорідний за форматом трафік. Спрощено це можна зобразити, наприклад, таким чином:

Рисунок 2.1

Відмінність WDM від TDM, котрі реалізуються в сучасних SDH системах, можна також проілюструвати наступним рисунком:

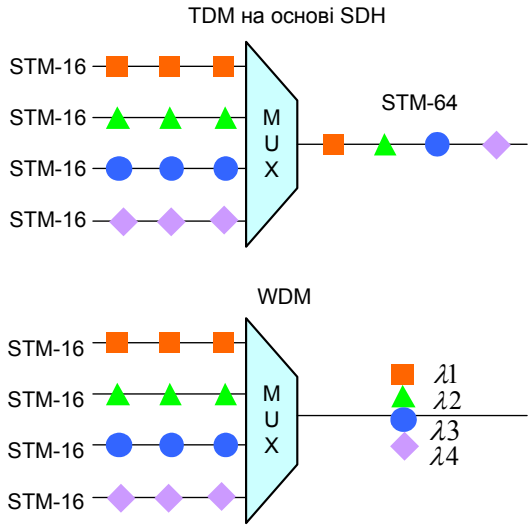


Рисунок 2.2

Тобто, TDM стає додатком до WDM.

Технологія WDM дозволяє суттєво збільшити пропускну здатність лінії зв’язку, дає можливість організувати двосторонню передачу даних по одному волокну, причому нарощування пропускної здатності може відбуватись на вже існуючому волоконно-оптичному кабелі.

У системі WDM сигнали різних довжин хвиль, що генеруються одним або декількома оптичними передавачами, поєднуються мультиплексором у багаточастотний груповий оптичний сигнал, що поширюється далі по одномодовому ОВ. За великої довжини волоконно-оптичної лінії зв’язку в ній встановлюється один

або кілька оптичних підсилювачів (ОП). Демультиплексор виділяє з групового оптичного сигналу початкові частотні канали і направляє їх на відповідні фотоприймачі. На проміжних вузлах у лінії або мережі зв'язку деякі оптичні канали можуть бути додані або виділені з групового оптичного сигналу за допомогою оптичних мультиплексорів введення/виведення (OADM)

§2.2 Технологія DWDM та CWDM.

Технологія WDM широко розповсюджена в світі у вигляді двох основних типів систем:

- Системи з щільним спектральним розділенням каналів DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)
- Системи з нещільним (грубим) спектральним розділенням каналів CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

Зараз існують системи WDM як на великі відстані Long Haul (для магістральних ВОЛЗ) так і міські, внутрішньозонові Metro WDM системи.

Технологія CWDM знаходить більш широке застосування на міських мережах, завдяки меншим витратам на її введення, зокрема, тому що не потребує застосування оптичних підсилювачів (окрім випадків, коли потрібна 3R регенерація сигналу) та завдяки меншій ємності.

Рознесення каналів для сучасних DWDM становить 100 ГГЦ або ~0,8 нм. Для CWDM розділення каналів здійснюється на значно більшій частотній відстані 2500 ГГц або ~20 нм.

Приклади спектра групового потоку для 4-канальної CWDM системи та 32-канальної DWDM системи (на спектрах вказано також спектр каналу OSC, що знаходиться окремо від основного групового потоку):

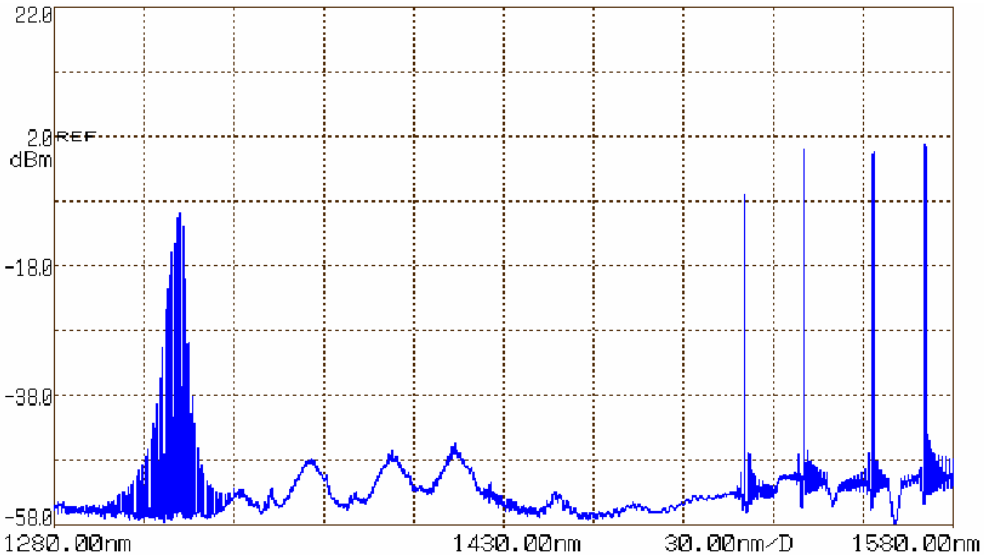


Рисунок 2.3 а) Приклад спектра лінійного сигналу системи CWDM

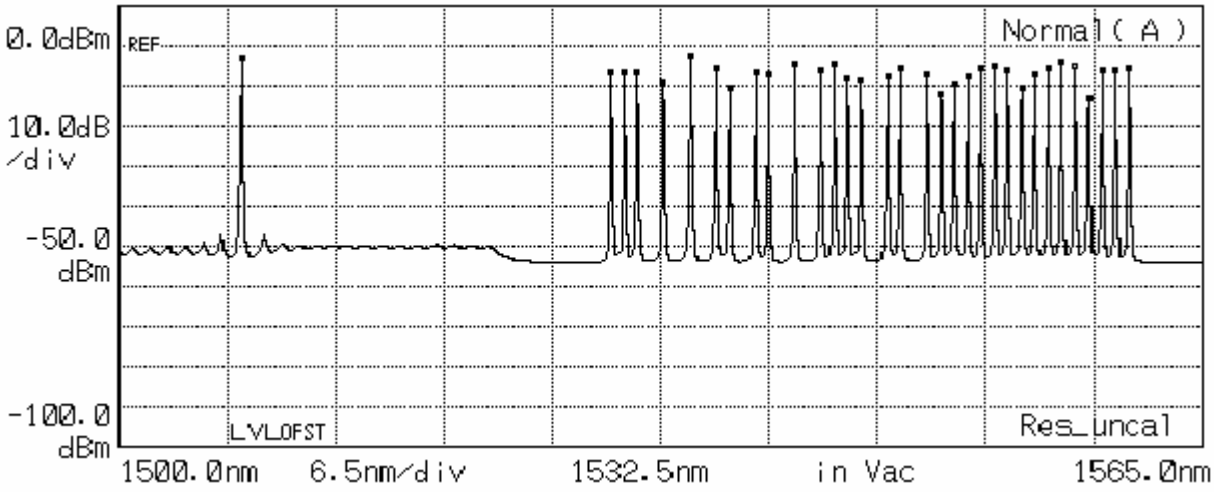


Рисунок 2.3 б) Приклад спектра лінійного сигналу системи DWDM.

З появою оптичних підсилювачів та оптичних мультиплексорів введення/виведення OADM (Optical Add/Drop Multiplexer), котрі дають можливість маршрутизації, з'являються повністю оптичні транспортні мережі (OTM) – OTN (Optical Transport Networking).

В системах WDM застосовують цілком визначені діапазони довжин хвиль оптичного випромінювання, котрі стандартизовані ITU (рекомендації G.694.1 та G.694.2)

Номінальні центральні довжини хвиль, з рознесенням 20 нм Для сітки WDM згідно з G.694.2					
1271	1331	1391	1451	1511	1571
1291	1351	1411	1471	1531	1591
1311	1371	1431	1491	1551	1611

Для DWDM, з різною величиною рознесення центральних довжин хвиль за частотою, використовують формули:

Для рознесення 12,5 ГГц: 193.1 + n × 0.0125 (де n ціле додатне число, включно з 0)

Для рознесення 25 ГГц: 193.1 + n × 0.025 (де n ціле додатне число, включно з 0)

Для рознесення 50 ГГц: 193.1 + n × 0.05 (де n ціле додатне число, включно з 0)

Для рознесення 100 ГГц: 193.1 + n × 0.1 (де n ціле додатне число, включно з 0)

Власне саму DWDM технологію поділяють на DWDM та HDWDM (High Dense Wawelength Division Multiplexing – надщільне спектральне мультиплексування), за частотним рознесенням каналів це виглядає, як показано в таблиці.

Для C та L діапазонів таблиця матиме вигляд, згідно з G.694.1:

Номінальні центральні частоти для рознесення каналів				**Номінальні центральні довжини хвиль, нм**
HDWDM			**DWDM**	
12.5 ГГц	**25 ГГц**	**50 ГГц**	**100 ГГц**	
C – діапазон				
195.9375	–	–	–	1530.04
195.9250	195.925	–	–	1530.14
195.9125	–	–	–	1530.24
195.9000	195.900	195.90	195.9	1530.33
195.8875	–	–	–	1530.43

Номінальні центральні частоти для рознесення каналів				Номінальні центральні довжини хвиль, нм
HDWDM			DWDM	
12.5 ГГц	25 ГГц	50 ГГц	100 ГГц	
195.8750	195.875	–	–	1530.53
195.8625	–	–	–	1530.63
195.8500	195.850	195.85	–	1530.72
195.8375	–	–	–	1530.82
195.8250	195.825	–	–	1530.92
195.8125	–	–	–	1531.02
195.8000	195.800	195.80	195.8	1531.12
195.7875	–	–	–	1531.21
195.7750	195.775	–	–	1531.31
195.7625	–	–	–	1531.41
195.7500	195.750	195.75	–	1531.51
195.7375	–	–	–	1531.60
195.7250	195.725	–	–	1531.70
195.7125	–	–	–	1531.80
195.7000	195.700	195.70	195.7	1531.90
195.6875	–	–	–	1532.00
195.6750	195.675	–	–	1532.09
195.6625	–	–	–	1532.19
•	•	•	•	•
193.2375	–	–	–	1551.42
193.2250	193.225	–	–	1551.52
193.2125	–	–	–	1551.62
193.2000	193.200	193.20	193.2	1551.72
193.1875	–	–	–	1551.82
193.1750	193.175	–	–	1551.92
193.1625	–	–	–	1552.02
193.1500	193.150	193.15	–	1552.12
193.1375	–	–	–	1552.22
193.1250	193.125	–	–	1552.32
193.1125	–	–	–	1552.42
193.1000	193.100	193.10	193.1	1552.52
193.0875	–	–	–	1552.62
193.0750	193.075	–	–	1552.73
193.0625	–	–	–	1552.83
193.0500	193.050	193.05	–	1552.93
193.0375	–	–	–	1553.03
193.0250	193.025	–	–	1553.13

Номінальні центральні частоти для рознесення каналів				Номінальні центральні довжини хвиль, нм
HDWDM			DWDM	
12.5 ГГц	25 ГГц	50 ГГц	100 ГГц	
193.0125	–	–	–	1553.23
193.0000	193.000	193.00	193.0	1553.33
192.9875	–	–	–	1553.43
192.9750	192.975	–	–	1553.53
192.9625	–	–	–	1553.63
L - діапазон				
184.7750	184.775	–	–	1622.47
184.7625	–	–	–	1622.58
184.7500	184.750	184.75	–	1622.69
184.7375	–	–	–	1622.80
184.7250	184.725	–	–	1622.91
184.7125	–	–	–	1623.02
184.7000	184.700	184.70	184.7	1623.13
184.6875	–	–	–	1623.24
184.6750	184.675	–	–	1623.35
184.6625	–	–	–	1623.46
184.6500	184.650	184.65	–	1623.57
184.6375	–	–	–	1623.68
184.6250	184.625	–	–	1623.79
184.6125	–	–	–	1623.90
184.6000	184.600	184.60	184.6	1624.01
184.5875	–	–	–	1624.12
184.5750	184.575	–	–	1624.23
184.5625	–	–	–	1624.34
184.5500	184.550	184.55	–	1624.45
184.5375	–	–	–	1624.56
184.5250	184.525	–	–	1624.67
184.5125	–	–	–	1624.78
184.5000	184.500	184.50	184.5	1624.89

В таблиці 5.1 роз'яснення ITU G.Sup.39 вказані границі оптичних діапазонів для одномодового волокна, котре використовується для функціонування WDM.

Смуга	Назва	Діапазон (нм)
O	Original	1260 ÷ 1360
E	Extended	1360 ÷ 1460
S	Short wave length	1460 ÷ 1530
C	Conventional	1530 ÷ 1565
L	Long wave length	1565 ÷ 1625
U	Ultra long wave length	1625 ÷ 1675

Це також показано рисунком 2.4, де зображена спектральна залежність погонних втрат потужності оптичного сигналу в одномодовому волокні.

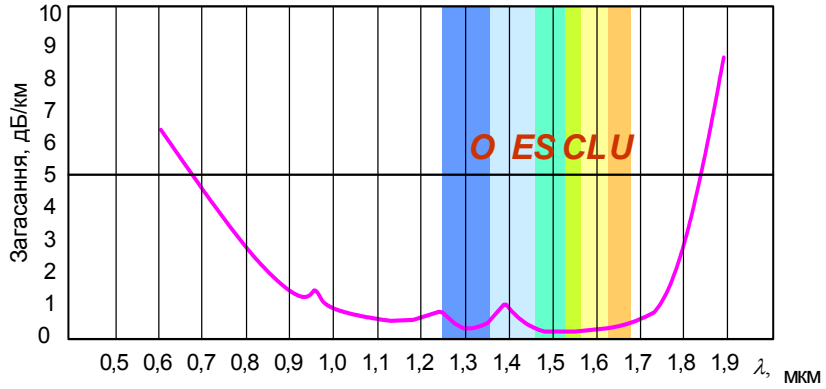


Рисунок 2.4

Багато сучасних DWDM систем використовують С-діапазон, котрий відповідає максимальному підсиленню волоконних оптичних підсилювачів, легованих іонами ербію.

В С-діапазоні можна використовувати до 80 оптичних каналів. Для того щоб уникнути втрат, внаслідок нелінійної взаємодії оптичних каналів, а також дотриматись санітарних норм (при підвищеній потужності лазерного випромінення будуть потрібні спеціальні захисні пристрої для забезпечення лазерної безпеки), сумарна потужність у оптичному волокні не повинна перевищувати 100 мВт (20 дБм). Це обмежує потужність на один оптичний канал. Так, для 80 канальної системи рівень потужності на канал складає 1 дБм; для 40 канальної 4 дБм; для 32 канальної 5 дБм.

Таким чином, на кожній підсилювальній ділянці 32 канальна система має запас 1 дБ порівняно з 40 канальною системою та 4 дБ порівняно з 80 канальною, а значить, і довжина підсилювальної ділянки для 32 канальної системи буде більшою.

§2.3 Реалізація WDM систем

При проектуванні мереж WDM передбачають такі етапи:

- Визначення пропускної спроможності окремих оптичних каналів
- Вибір типу волокна для оптичного кабелю ВОЛЗ
- Вибір типу оптичних підсилювачів та визначення довжини підсилювальних ділянок
- Визначення типу топології, архітектури та структури мережі

При проектуванні систем WDM потрібно мати на увазі, що придатність існуючого волокна може бути проблематичною, внаслідок менш досконалої технології, котра застосовувалась за його виготовлення та монтажу. При цьому потрібно надавати суттєву увагу таким параметрам:

- Втрати в лінійному тракті (втрати у волокні, втрати на з'єднаннях, втрати на вигинах пов'язані з процесом виготовлення волокна та його прокладанням)
- Хроматична дисперсія (виникає внаслідок кінцевої ширини спектральної лінії джерела випромінення, що призводить до різних групових швидкостей розповсюдження спектральних складових імпульсу, і як наслідок до викривлення форми імпульсу. Хроматична дисперсія впливає на граничну величину максимальної швидкості передавання, оскільки при більший швидкості між імпульсами корисного сигналу стає меншим інтервал і збільшується ймовірність появи помилок в прийомі сигналу внаслідок хроматичної дисперсії)
- Поляризаційна дисперсія моди (ПДМ) (виникає внаслідок різної швидкості розповсюдження по волокну різних поляризаційних складових напрямлюваної моди, що призводить до зміни форми імпульсу, збільшення його тривалості в часі).
- Перехресні завади у волокні (з'являються внаслідок нелінійних явищ у волокні, наприклад, чотирихвильового змішування, або внаслідок разбалансування та нестиковки елементів систем WDM.
- Нелінійні явища (збільшуються зі зростанням оптичної потужності у волокні, виникають внаслідок залежності показника заломлення волокна від оптичної потужності, та внаслідок розсіювання у волокні (Раманівське розсіювання та розсіювання Мандельштама–Брілюена))
- Чутливість до відхилення від несівної довжини хвилі (як наслідок, явище інтерференції може призвести до збільшення відбиття на з'єднаннях).

У відповідності до рекомендації G.692, WDM системи позначають наступним чином:

B-nWx-y.z

Тут знак **B** означає двонапрямленість системи (відсутній для однонапрямлених систем)

Знак **n** вказує на кількість робочих хвиль (каналів системи)

Знак **W** вказує на робочу відстань передавання системи. Відповідно бувають:

- L long-haul (80 км), довгої протяжності
- V very long-haul (120 км), високої протяжності
- U ultra long-haul (160 км), понад довгої протяжності

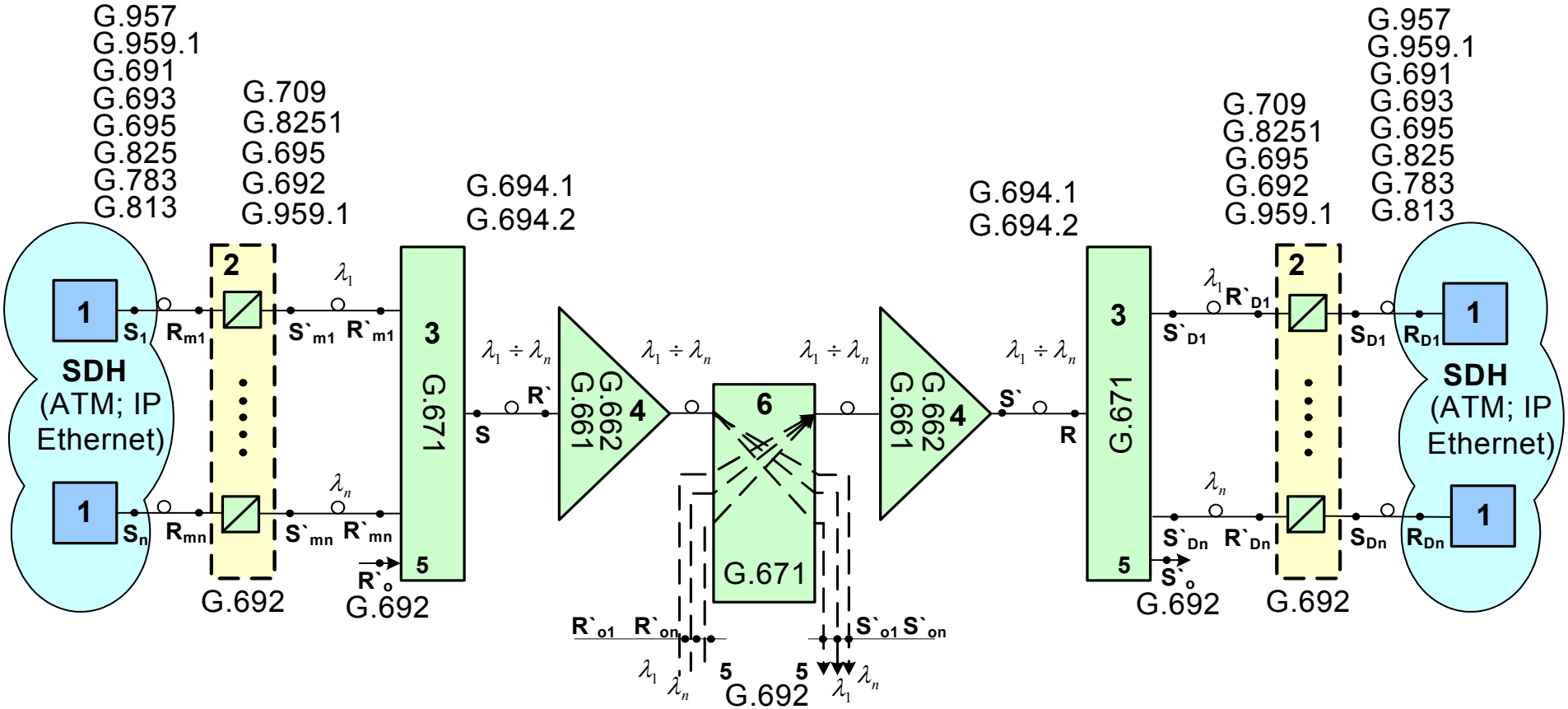
Знак **x** вказує на максимальну кількість регенераційних ділянок (дорівнює 1 для систем без підсилювачів і не вказується)

Знак **y** вказує максимальну швидкість транспортного модуля STM, що вводиться в систему WDM (відповідно дорівнює 4; 16; 64)

Знак **z** вказує тип волокна, на якому працює система:

- 2 для волокна за G.652
- 3 для волокна за G.653
- 5 для волокна за G.655

Загальний спрощений вигляд WDM систем та рекомендації ITU, котрі описують інтерфейси і параметри відповідних елементів системи, включно з їх контрольними точками, показано на рисунку 2.5, опис контрольних точок надано в таблиці до рисунка.



– Оптичний кабель

1 – Мультиплексор SDH (STM)

2 – Транспондер WDM (STM/OTN)

3 – Мультиплексор/Демультиплексор WDM (OTN)

4 – Оптичний підсилювач WDM (OTN)

5 – Оптичний контрольний канал (OSC)

6 – Мультиплексор/Демультиплексор вводу/виводу WDM (OTN)

Рисунок. 2.5 Контрольні точки у відповідності до п. 5.2 рекомендацій G.692, G.695, G.696.1 (Draft), G.698.1 (Draft), G.959.1 та доповнення II рекомендації G.959.1, і додатка “Г” ГСТУ 45.017-2001

Контрольні точки.

$S_1 – S_n$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів мультиплексорів SDH для каналів 1...n відповідно.
$R_{m1} – R_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед транспондером для каналів 1...n відповідно.
$S`_{m1} – S`_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після транспондера для каналів 1...n відповідно.
$R`_{m1} – R`_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед мультиплексором WDM.
R`o	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед мультиплексором WDM для каналу OSC.
S	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після мультиплексора WDM.
R`	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед оптичним підсилювачем.
S`	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після оптичного підсилювача.
R	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед демультиплексором WDM.
$S`_{D1} – S`_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після демультиплексора WDM.
$R`_{D1} – R`_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед транспондером для каналів 1...n відповідно.
S`o	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після демультиплексора WDM для каналу OSC.
$S_{D1} – S_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після транспондера для каналів 1...n відповідно.
$R`_{D1} – R`_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів мультиплексорів SDH для каналів 1...n відповідно.
$R`_{O1} – R`_{On}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів оптичного мультиплексора введення/виведення WDM після транспондера для каналів 1...n відповідно.
$S`_{O1} – S`_{On}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів оптичного мультиплексора введення/виведення WDM перед транспондером для каналів 1...n відповідно.

§2.4 Характеристики сучасних WDM систем

На сучасному етапі випускаються WDM системи, здатні задовольнити сучасні потреби по збільшенню ефективності як міських (зонових) так і магістральних ВОСП. Характеристики деяких з таких систем WDM зведено в таблицю:

Характеристики WDM систем

Найманування та тип системи (DWDM або CWDM)	**Компанія виробник**	**Число каналів**	**Діапазон довжин хвиль**	**Відстань між сусідніми каналами (в термінах довжин хвиль або частот)**	**Лінійна швидкість передачі**
1626 Light Manager	Alcatel	96 (192)	1530÷1570 нм	0,4 нм	100 Мбіт/с – 2,5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
1696 Metro Span	Alcatel	32	1530÷1560 нм	0,8 нм	100 Мбіт/с – 2.5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
1696 Metro Span Compact	Alcatel	8	1530÷1560 нм	0,8 нм	100 Мбіт/с – 2,5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
1692 Metro Span Edge	Alcatel	8	1470÷1610 нм	20 нм	100 Мбіт/с – 2,5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
XDM (DWDM) [1]	ECI	80	1529÷1561 нм 1570÷1603 нм	100 ГГц (0,8 нм)	2,5 Гбіт/с 10 Гбіт/с
XDM (CWDM) [1]	ECI	16	1291÷1611нм	2500 ГГц (20 нм)	2,5 Гбіт/с
Common Photonic Layer (CPL)[2]	Nortel networks	DWDM - 36 DWDM - 72	C – діапазон	100 ГГц 50 ГГц	10 Гбіт/с
OPTera Metro 5200 OPTera Metro 5100	Nortel Networks	DWDM -32 CWDM –8	DWDM C і L 1528,77нм÷1605,73 нм CWDM S+C+L 1470÷1610 нм	200 ГГц 20нм	10 Гбіт/с 2,5 Гбіт/с
SURPASS 7500	Siemens	До 160	1520÷1610 нм	100 ГГц і 50 ГГц	160 х 10 Гбіт/с
SURPASS 7540	Siemens	До 160	1528,77÷1607,47 нм	50 ГГц	12,5 Гбіт/с
SURPASS 7540C	Siemens	До 80	1537,39÷1563.86 нм	50 ГГц	2,5 Гбіт/с
FSP 3000 Metro DWDM	Siemens	64 / 32	1530,33÷1602,31 нм	200 ГГц	10 Гбіт/с
SURPASS 7550, DWDM-система	Siemens	160 довжин хвиль 10 Гбіт/с 80 довжин хвиль 40 Гбіт/с	1528,77÷1607,47 нм	100 ГГц і 50 ГГц	160 каналів х 10 Гбіт/с 80 каналів х 40 Гбіт/с

Найманування та тип системи (DWDM або CWDM)	Компанія виробник	Число каналів	Діапазон довжин хвиль	Відстань між сусідніми каналами (в термінах довжин хвиль або частот)	Лінійна швидкість передачі
Tellabs 7200 Optical Transport System DWDM-система	Tellabs	32 16	1535,82÷1560,61 нм 1536,61÷1560,61 нм	100 ГГц 200 ГГц	32 (16) каналів х 10 Гбіт/с
Metropolis® WSM DWDM-система CWDM-система	Lucent Technologies	40 20 8 (CWDM)	1530,33÷1561,42 нм 1470÷1610 нм (CWDM)	100 ГГц 200 ГГц	40 (20) каналів х (2,5 Гбіт/с) 10 Гбіт/с 8 каналів х 2,5 Гбіт/с (CWDM)
LambdaXtreme™ Transport DWDM-система	Lucent Technologies	128 довжин хвиль 10 Гбіт/с 64 довжин хвиль 40 Гбіт/с	L – діапазон	Відсутні дані	128 каналів х 10 Гбіт/с 40 каналів х 40 Гбіт/с
WaveStar® OLS 1.6T	Lucent Technologies	160 довжин хвиль 10 Гбіт/с	Відсутні дані	Відсутні дані	160 каналів х 10 Гбіт/с
SpectraStream 128 CWDM-система	Optelecom	18 довжин хвиль	1270÷1450 нм	20 нм	Відсутні дані
Система “ПУСК” DWDM-система	НТО-ИРЭ-Плюс	8 довжин хвиль 10 Гбіт/с (до 160 довжин хвиль)	1530÷1605 нм	200 ГГц (до 50 ГГц)	8 каналів х 10 Гбіт/с (до 160 каналів х 10 Гбіт/с)
Система “ПУСК-М” DWDM-система	НТО-ИРЭ-Плюс	12 довжин хвиль 10 Гбіт/с	1548÷1562 нм	100 ГГц	12 каналів х 10 Гбіт/с

[1)] Плати обладнання DWDM вистроюються в лінійку обладнання XDM-400/500/1000/2000, плати обладнання CWDM вистроюються в лінійку обладнання XDM-100/200

[2)] Обладнання CPL – це оптичне обладнання передачі, котре включає в себе підсилювачі та інші оптичні компоненти. Використовується підстроювана частотно-фазова модуляція (чирпінг), котра може змінюватись в залежності від відстані між транспондерами, типу кабелю, величини нелінійних явищ та ін. Застосування керованої модуляції дозволяє повністю відмовитись від використання модулів компенсації дисперсії

Розділ 3 Структура WDM системи

В структуру WDM систем як правило входять наступні елементи:

§3.1 Транспондер

Транспондер (прийомопередавач) — призначено для узгодження спектральних параметрів інтерфейсів мультиплексорів SDH, що описані в рекомендаціях G.957, G.691, G.693 із спектральними параметрами WDM мультиплексорів, котрі відповідають рекомендаціям G.692, G.695, G.959.1, окрім цього транспондер здійснює 3R регенерацію.

Декотрі компанії випускають транспондери, що можуть визначати наявність помилок і виконувати попередню корекцію помилок (FEC) в структурі даних (описаної в рекомендації G.709) та здійснювати контроль експлуатаційних показників незалежно від типу сигналу, що передається (наприклад SDH або Ethernet), завдяки чому транспондер може використовуватись у оптичних транспортних мережах. Застосування попередньої корекції помилок (FEC) призводить до невеликого збільшення швидкості передавання (на кілька процентів) та покращує якість отриманих даних за існуючої величини лінійного загасання (або за існуючого коефіцієнта помилок збільшує допустиму величину лінійного загасання).

Транспондер має кількість оптичних входів та виходів, рівну числу оптичних сигналів, які потрібно ущільнити. При цьому, якщо ущільнюється n оптичних сигналів, то на виході транспондера довжина хвилі кожного каналу повинна відповідати лише одній довжині хвилі у відповідності з канальним планом (сіткою частот), наприклад, припустимо для 1-го каналу оптичний сигнал повинен мати довжину хвилі λ_1 для другого λ_2 і т.д. до λ_n. З виходів транспондера ці оптичні сигнали поступають на строго визначені входи оптичного мультиплексора, що відповідають вказаним довжинам хвиль λ_1 ... λ_n. Транспондер є необов'язковим елементом WDM систем. Якщо з мультиплексорів SDH подаються на WDM мультиплекор сигнали зі спектральними параметрами, що відповідають рекомендаціям G.692, G.695, G.959.1, то транспондер не потрібен. Параметри інтерфейсів транспондера та сітка частот описані у рекомендаціях G.692, G.695, G.959.1 G.825, G.8251.

Основними характеристиками транспондера є наступні параметри:

- Мінімальна чутливість приймача
- Мінімальний рівень перенавантаження приймача
- Максимальне вхідне фазове тремтіння
- Потужність випромінення
- Форма імпульсу ("око–діаграма")
- Довжина хвилі випромінювання
- Ширина спектральної лінії
- Максимальне власне фазове тремтіння (тремтіння на виході за відсутності тремтіння на вході)
- Характеристика передавання фазового тремтіння
- Максимальний штраф за оптичний шлях

Причому, нормовані значення цих параметрів є різними та описуються у різних рекомендаціях для клієнтської частини транспондера, котра стикується, наприклад, з обладнанням SDH, та для лінійної частини транспондерів, котра стикується з обладнанням WDM.

Транспондер може мати перестроюваний передавач, таким чином його можно настроїти на потрібну довжину хвилі у відповідному робочому діапазоні. Транспондер може виконувати також функції регенератора, при цьому в залежності від апаратної реалізації транспондера може бути потрібно один або два транспондера на канал.

§3.2 WDM мультиплексор/демультиплексор

WDM мультиплексор/демультиплексор використовується для об'єднання/роз'єднання в одному оптичному волокні кількох каналів з різними довжинами хвиль. WDM мультиплексори/демультиплексори як і мультиплексор введення/виведення — пасивні оптичні компоненти, описані у рекомендації G.671 (6.51; 6.52; 6.53 /IEC 61931-1), використовуються для передавання в лінію (прийому з лінії) групового сигналу з каналами на довжинах хвиль, котрі відповідають рекомендаціям G.694.1, G.694.2.

Оптичні мультиплексори введення/виведення каналів використовують для додавання та/або виділення з групового оптичного сигналу певних каналів (на певних довжинах хвиль).

WDM мультиплексор більшою мірою характеризує направленість (здатність спрямовувати потік в потрібному напрямку), а WDM демультиплексор – ізоляцію каналів (здатність виділення каналів з групового потоку без спотворення в них).

Основними характеристиками мультиплексорів/демультиплексорів WDM є наступні параметри:

- Центральна довжина хвилі каналу
- Інтервал між каналами
- Смуга пропускання на рівні 1 та 3 дБ
- Перехідні завади
- Ізоляція каналів
- Направленість
- Варіація потужності в спектрі каналу
- Однорідність каналів
- Втрати, що залежать від поляризації PDL (Polarization Dependent Loss)
- Поляризаційна дисперсія моди
- Внесені втрати
- Втрати на відбиття

Для мультиплексування/демультиплексування використовуються тонкоплівкові фільтри, волоконні брегівські ґратки, дифракційні ґратки, пристрої інтегральної оптики (оптичний еквівалент інтегральних схем в електроніці), розгалужувачі. Оптичний мультиплексор/демультиплексор вносить значні втрати, котрі зменшують енергетичний потенціал системи (максимальна величина втрат в лінії передавання за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок). Тому для їхньої компенсації на виході WDM мультиплексора (а також на вході WDM демультиплексора) встановлюється оптичний підсилювач.

Ефективність мультиплексора/демультиплексора визначається його здатністю ізолювати один від одного вхідні або вихідні канали.

§3.3 Оптичний передавач

Передавач є пристроєм для генерації енергії оптичного випромінювання, (лазер, світлодіод). Передавач повинен мати:

- Високу направленість випромінення (для чого використовують лазери з дифракційними ґратками)
- Високе подавлення бічних мод
- Стабільність довжин хвиль, що передаються
- Потужність, необхідну для компенсації втрат в оптичному кабелі, що забезпечує прийом сигналів із заданим рівнем коефіцієнта помилок

Параметри передавачів визначені у рекомендаціях G.957, G.691, G.693, G.959.1. Довжини хвиль передавача WDM повинні відповідати рекомендаціям G.694.1, G.694.2. Класифікація лазерів, щодо лазерної безпеки, описана у стандарті ДСТУ IEC 60825-1. Час до автоматичного відключення лазера наведена у таблиці III.1/G.664 рекомендації ITU G.664.

Найпоширенішими джерелами випромінення для ВОСП на початку були напівпровідникові СВД (Світловипромінювальні діоди); ЛД (Лазерні діоди). В сучасних ВОСП для підвищення швидкості роботи та дальності передавання використовуються навіпровідникові лазери. Сучасний напівпровідниковий лазер становить собою багатошарову напівпровідникову структуру з розмірами в кілька сотень мікрон з резонатором Фарбі-Перо або системою з розподіленим зворотнім зв'язком (РЗЗ), а також з системами виведення випромінення, подачі живлення та керування вихідною потужністю (модуляції).

Останнім часом знаходять застосування напівпровідникові лазери з вертикальним (резонатор розташовано перпендикулярно площині підложки) резонатором (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers – VCSELs), лазерів з розподіленими Брегівськими дзеркалами, котрі утворені двома світловідбиваючими дзеркалами, такі дзеркала називають Брегівськими відбивачами, з великим коефіцієнтом відбиття (аж до 100%), що вносить труднощі їх виробництва, котрі розташовані над та під дуже маленькою областю підсилення (товщиною порядку 20 нм).

На сьогоднішній день VCSEL лазери, довжина хвилі котрих може перестроюватись, знаходять застосування в системах WDM.

§3.4 Фотоприймач

Фотоприймач є пристроєм котрий перетворює вхідні оптичні сигнали у електричні та здійснює у такий спосіб їхню демодуляцію. Фотоприймач повинен бути повністю сумісним з передавачем як за спектральною смугою чутливості у межах номінальних довжин хвиль, так і за часовими характеристиками модуляції випромінювання. Окрім того, фотоприймач повинен мати стійкість до помилок, котрі можуть виникнути в сигналі при проходженні ним інших оптичних компонентів. Параметри фотоприймачів визначені у рекомендаціях G.957, G.691, G.693, G.959.1. Ними є:

- Чутливість (мінімальний рівень вхідної оптичної потужності сигналу за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок)
- Рівень перенавантаження (максимальний рівень вхідної оптичної потужності сигналу за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок)
- Смуга пропускання

§3.5 Атенюатори

Атенюатори, що можуть встановлюватись після оптичного передавача, дозволяють зменшувати їхню вихідну потужність до рівня, котрий відповідає можливостям розташованих після них мультиплексорів та підсилювачів. Атенюатори також встановлюють щоб більша потужність сигналу не призводила до нелінійних явищ у оптичному волокні. Атенюатори можуть бути змінними і мати властивості регулювання для вибору загасання потужності (за довжинами хвиль), що часто потрібно для того, щоб "вирівняти" (за рівнем потужності) спектр сигналу на вході в підсилювач. Основні параметри, описані у рекомендації ITU G.671 (1.3.1/IEC60869-1):

- Внесені втрати
- Втрати на відбиття
- Втрати, що залежать від поляризації
- Поляризаційна дисперсія моди

§3.6 Комутатори

Згідно рекомендації G.671 (1.3.1/IEC 60876-1) оптичний комутатор є пасивний оптичний компонент з двома або більше портами, котрий вибірково передає, переадресовує або блокує оптичний сигнал при передачі по оптичному волокну.

Комутатори застосовують (окрім їх прямої функції оптичної комутації) для того, щоб за виникнення пошкоджень в мережі направити сигнал по іншому оптичному шляху або через іншу мережу. Для перенаправлення кількох каналів можуть

застосовуватись прості оптичні перемикачі. Для складних мережних архітектур (кільцевої, коміркової) з великою кількістю вузлів та точок доступу, де необхідна гнучка швидка комутація великої кількості каналів, використовують технологію оптичної крос-комутації (на основі комутації волокон чи довжин хвиль). Наприклад, використовується ґратки, масиви хвилеводів, рідкі кристали. Основні параметри описані у рекомендації G.671:

- Внесені втрати
- Втрати на з'єднаннях
- Втрати на відбиття
- Втрати, що залежать від поляризації
- Перехресні завади
- Тривалість переключення

Тривалість переключення на резерв згідно рекомендації (п.11.4.1) G.783 та (п.7.1) G.841 не повинна перевищувати 50 мс.

Тривалість переключення для оптичних комутаторів згідно рекомендації G.671 наведено нижче у таблиці § 3.15.

Оптичні комутатори стали тим елементом WDM систем, котрий дозволив відійти від побудови мережі за структурою "точка-точка" і перейти до більш складних структур та зробив WDM мережу більш керованою, гнучкою і ефективнішою щодо вирішення потреб користувачів.

Оптичну комутацію можна поділити на два типи:

- комутація потоків (крос-комутація) — коли за допомогою оптичного комутатора є можливість перенаправити (переключити) оптичні тракти між оптичними волокнами.
- λ- комутація — коли за допомогою оптичного комутатора створюються умови (за допомогою дисперсійних елементів) для комутації довжин хвиль між оптичними трактами та оптичними волокнами.

На сьогодні оптичні комутатори існують двох типів: O/E/O (оптика/електрика/оптика) та фотонних O/O/O (оптика/оптика/оптика) (тобто повністю оптичних), кожний з яких має свою сферу застосування.

Комутатори O/E/O типу є "інтелектуальними" порівняно з фотонними O/O/O комутаторами. Повністю оптичні фотонні комутатори O/O/O типу дають змогу перейти до повністю оптичних мереж.

Повністю оптичні комутатори O/O/O типу здійснюють комутацію без перетворення оптичного сигналу в електричний. Прикладом такого типу комутаторів може бути комутатор із 3_D MEMS (трьохмірною електромеханічною системою).

Така система використовує механізми нахилу та керування MEMS дзеркальною матрицею у трьохмірному просторі для комутації потоків, як показано на рисунку 3.1 а):

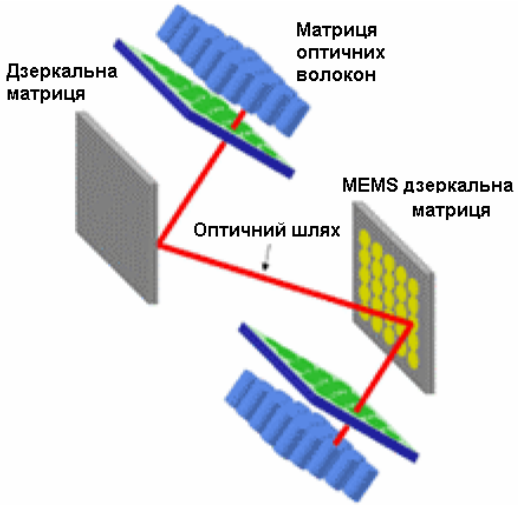


Рисунок 3.1 а)

Загальна порівняльна характеристика повністю оптичних комутаторів зроблені за різними технологіями, наведена в таблиці:

Параметр	Середовище комутації			
	Вільний простір		Хвилеводне	
Технологія виконання	MEMS	Рідкі кристали	Термооптичні бульбашки	Термооптичні/ електрооптичні хвилеводи
Здатність до збільшення ємності комутаційної матриці	Добра	Погана	Погана	Погана
Втрати	Малі	Не досліджено	Великі	Не досліджено
Тривалість комутації	Мала	Не досліджено	Не досліджено	Мала
Перехідні завади	Малі	Не досліджено	Не досліджено	Не досліджено
Ефекти поляризації	Малі	Малі (досліджується)	Малі (досліджується)	Великі
Незалежність від довжини хвилі	Добра	Добра	Добра	Погана
Незалежність від швидкості передачі	Добра	Добра	Добра	Добра
Споживання енергії	Добра	Добра	Погана	Погана

Недоліком такого класу оптичних комутаторів є повільність переключення (порядку мілісекунд).

Електрооптичні комутатори, на відміну від повністю оптичних комутаторів, окрім комутації потоків (крос-комутації), можуть виконувати:

- функцію 3R регенерації.
- комутацію за довжинами хвиль — λ- комутація (за допомогою дисперсійних елементів).
- комутацію за кодовою комбінацією (на основі таких мережних концепцій як GMPLS (базується на відомій в технології ATM та IP класичній концепції MPLS) — мітки вводяться для різноманітних оптичних компонентів: оптичних волокон; довжин хвиль (λ- комутація) та групи довжин хвиль; оптичних вузлів комутації.

Архітектура оптичного вузла комутації такого типу комутаторів.

Оптичний вузол комутації, як зображено на рис. 3.1 б), складається з наступних вузлів:

Вхідні/вихідні лінійні блоки, до складу яких входять підсилювальні та корегуючи пристрої і оптичні мультиплексори/демультиплексори. Ці блоки відповідають за відновлення сигналів на прийомі з лінії та формування сигналів для передачі в лінію.

Оптичні комутатори, що виконують функції проключення транзитних каналів, під'єднання допоміжних пристроїв та блока керування вузла комутації.

Оптичний буфер, що становить собою лінію затримки або оптичний блок пам'яті. Він виконує допоміжні функції узгодження часу необхідного для проходження сигналу через вузол, з тривалістю встановлення комутаційного проключення.

Хвильові конвертери, які є активними пристроями з оптико-електронно-оптичним перетворенням сигналу та виконують допоміжну функцію зміни довжини хвилі сигналу при виконанні λ-комутації.

Блок керування призначений для аналізу інформації щодо адресу вхідних інформаційних пакетів, за якою виконується переключення вхідного інформаційного пакету до вихідного порта з визначеними напрямком передачі та довжиною хвилі

несівної. Крім того, він виконує допоміжні сервісні функції по спостереженню за параметрами передачі та комутації і конфігурації вузла та інше.

В найскладнішому випадку створення тракту передачі сигналу, що проходить через оптичний вузол комутації, виглядає наступним чином. Сигнал прийшовши на вхідний порт, відновлюється за рівнем та формою і подається на демультиплексор, котрий виділяє окремі потоки інформації, що автоматично під'єднуються до оптичних буферів, для затримки на час, необхідний для створення трактів проходження, і на блок керування, який виділяє адресну інформацію (що визначає довжину хвилі та напрямок наступної ділянки) та керує створенням тракту для передачі окремих потоків через вузол. За необхідності змінити довжину хвилі до тракту під'єднується відповідний конвертер довжин хвиль, який виконує цю процедуру. На вихідному порту окремі потоки відновлюються по рівню потужності, об'єднуються в груповий сигнал на відповідний напрямок та передаються в лінію.

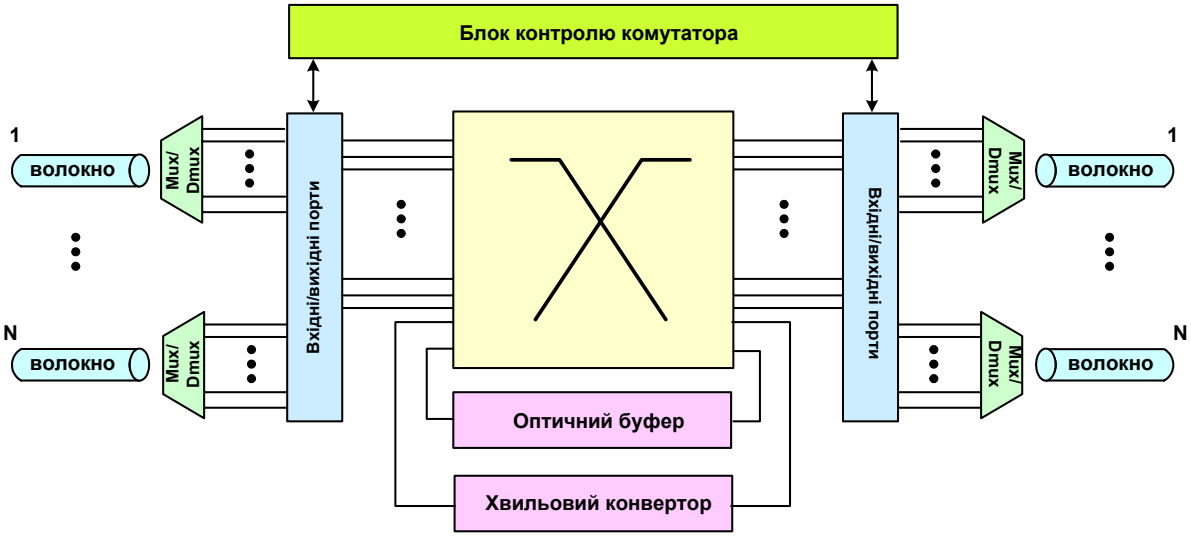


Рисунок 3.1 б)

Елементами електрооптичної комутації можуть бути комірки Поккельса.

Робота комірки Поккельса базується на використанні ефекту Поккельса, суть якого полягає в зміні показника заломлення матеріалу пропорційно до напруженості електричного поля в комірці Поккельса. І як наслідок, змінюється стан поляризації (на ортогональний), що призводить до комутації сигналу.

Порівняльні функціональні властивості різних класів оптичних комутаторів зведені в таблицю.

Функції	**Класи комутаторів**		
	Повністю прозора оптична комутація	**Електрична комутація**	**Електрооптична комутація**
Можливість управління властивостями	складна	легка	легка
Можливість перевірки з'єднань	складна	легка	легка
Можливість вилучення ділянок зі збоями	складна	легка	легка
Можливість автоматичного визначення (відновлення) топології	складна	легка	легка

Функції	Класи комутаторів		
	Повністю прозора оптична комутація	Електрична комутація	Електрооптична комутація
Можливість поступового нарощування ємності та лінійної швидкості	існує	не існує	існує
Можливість одночасного доступу до кількох вихідних портів	не існує	існує	існує
Можливість працювати з різними швидкостями вхідних потоків	не існує	існує	існує
Можливість автоматичного відновлення?	не існує	існує	існує
Внутрішньосмугова сигналізація	не існує	існує	існує

§3.7 Хвильові розгалужувачі

Хвильові розгалужувачі (пасивні селективні мультиплексори) у системах WDM використовують, коли потрібно розділити окремі інформаційні канали за заданою довжиною хвилі. Хвильові розгалужувачі є пасивними оптичними компонентами. Основні параметри, описані у рекомендації G.671. Важливими їхніми параметрами є:

- Високе значення перехідного загасання
- Внесені втрати

§3.8 Пристрої компенсації дисперсії

Пристрої компенсації дисперсії (ПКД) надають сигналу дисперсію, рівну за величиною та протилежну за знаком до дисперсії, набутій ним в оптичному волокні, що відновлює первинну форму імпульсів. У модуля компенсації дисперсії є недолік, котрий полягає у великих значеннях вносимих втрат.

Компенсатори дисперсії є необов'язковими елементами WDM систем. Наприклад, можна використовувати послідовно з'єднані пари лінійних волокон з взаємно-оберненою дисперсією (так звані волокна компенсуюі дисперсію DCF (dispersion compensating fiber)).

Для компенсації дисперсії можуть застосовуватись хвилеводні брегівські ґратки FBG (fiber Bragg grating) котрі є відрізками нерегулярного волокна, в котрому зміною показника заломлення вздовж вісі волокна сформована аперіодична брегівська ґратка. Хвилеводні брегівські ґратки широко застосовуються в системах WDM (в таких пристроях як OADM, мультиплексорах, демультиплесорах, хвилеводних конвертерах, вузькосмугових та широкосмугових оптичних фільтрах).

Основні параметри, описані у рекомендації G.666. Важливими параметрами ПКД є:

- Вносимі втрати
- Робоча смуга частот
- Коефіцієнт компенсації дисперсії
- Знак компенсуючої дисперсії

Компенсатори дисперсії зазвичай використовується спільно з оптичним підсилювачем, що дає можливість виконати 1R регенерацію.

§3.9 Оптичні підсилювачі

Оптичні підсилювачі забезпечують безпосереднє підсилення всіх оптичних каналів, що передані WDM мультиплексором, без їх перетворення у електричні сигнали та знову у оптичні. Оптичні підсилювачі підсилюють сигнал, що проходить через них, і використовують різні активні оптичні середовища та нелінійні ефекти. Вони не виконують 3R регенерацію, на відміну від регенераторів. (Згідно з рисунком A.1 рекомендації G.872 регенерація сигналу поділяється на 1R (Підсилення та корекція частоти і дисперсії); 2R (1R + відновлення первинної цифрової форми сигналу та подавлення шуму); 3R (2R + відновлення форми та положення імпульсу)). На практиці в лінії між регенераторами може застосовуватись до 10 оптичних підсилювачів (на кількість оптичних підсилювачів впливає вносимий підсилювачем шум).

Оптичні підсилювачі обов'язково використовується після WDM мультиплексора і перед WDM демультиплексором для компенсації енергетичних втрат.

Параметри оптичних підсилювачів, їх характеристики та методи їх виміру, що описані у рекомендаціях ITU G.661, G.662, G.663, G.665 та стандартах IEC 61290-1, IEC 61290-3-1, IEC 61290-3-2, IEC 61290-4-1, IEC 61290-5-1, IEC 61290-5-2, IEC 61290-5-3, IEC 61290-10-2, IEC 61291-1, IEC 61291-4, IEC 61292-3:

- Коефіцієнт підсилення каналу
- Рівномірність коефіцієнта підсилення
- Поляризаційна залежність коефіцієнта підсилення
- Профіль підсилення
- Підсилене спонтанне випромінювання
- Шум-фактор

Типи оптичних підсилювачів

№	Типи підсилювачів	Сфера застосування	Рекомендації
1	Підсилювач на волокні, що використовує розсіювання Мандельштама–Брілюена	Підсилення одного каналу (однієї довжини хвилі)	
2	Підсилювач на волокні, що використовує Раманівське розсіювання	Підсилення кількох каналів одночасно	ITU G.665 IEC 61292-3
3	Параметричні оптичні підсилювачі	Підсилення кількох каналів одночасно	
4	Напівпровідникові лазерні підсилювачі	Підсилення великої кількості каналів в широкій області діапазону хвиль одночасно	ITU G.661, G.662, G.663
5	Підсилювачі на волокні з домішками	Підсилення великої кількості каналів в широкій області діапазону хвиль одночасно	ITU G.661, G.662, G.663

Підсилювач на волокні, що використовує розсіювання Мандельштама–Брілюена

Стимульоване розсіювання Мандельштама–Брілюена — нелінійне явище, за якого енергія оптичної хвилі (на частоті f_1) переходить у енергію нової хвилі (на частоті f_2) Якщо накачування відбувається на частоті f_1 ,то такий підсилювач здатен підсилювати корисний сигнал на частоті f_2.

Явище розсіювання Мандельштама–Брілюена виникає за потужності накачування порядку 10 мВт. Рівень порогової потужності за якого виникає розсіювання Мандельштама–Брілюена, пропорційний ширині спектральної лінії лазера накачування, ефективній площі серцевини волоконного світловоду, та обернено пропорційний довжині волокна.

Підсилювач на волокні, що використовує комбінаційне розсіювання Рамана

Такі підсилювачі використовують нелінійне явище, пов'язане із стимульованим Раманівським розсіюванням. Раманівським, розсіювання назване на честь індійського фізика С. В. Рамана, котрий відкрив цей ефект у 1928 р. Принцип дії підсилювача полягає в тому, що частка енергії випромінення з частотою f_1, що поширюється у волокні, збуджує молекули речовини, при цьому з'являється компонента світлового потоку з частотою f_2 (антистоксова компонента, де $f_2 < f_1$). Якщо на частоті f_2 передавати корисний сигнал, а потужність накачування на частоті f_1 зробити достатньо великою, тобто енергія сигналу з частотою f_1 може повністю перейти до сигнального потоку, тобто волокно стає розподіленим підсилювачем, з коефіцієнтом підсилення, пропорційним потужності накачування.

Таким чином, принцип дії Раманівських підсилювачів тотожній підсилювачам з розсіюванням Мандельштама–Брілюена, однак зсув між частотою корисного сигналу, що підсилюється, та частотою хвилі накачування є більшим. Спектральна смуга підсилення також є ширшою, що дозволяє підсилювати одразу кілька каналів WDM системи.

Явище розсіювання Рамана виникає при потужності накачування порядку 0,5÷1,4 Вт (в залежності від довжини волокна).

Оптичні підсилювачі, котрі побудовані на ефекті стимульованого Раманівського розсіювання, та їхні параметри описані у рекомендації ITU G.665 та стандарті IEC 61292-3.

Цей тип оптичних підсилювачів є досить перспективним, оскільки такі підсилювачі дозволяють будувати WDM системи, що можуть охоплювати діапазони O+E+S+C+L одночасно.

Порівняно з широко застосовуваним на дійсний час підсилювачем EDFA Раманівськи підсилювачі набагато кращі за шумовими характеристиками та менш чутливі до температурних впливів.

Згідно з рекомендацією G.665 Раманівські оптичні підсилювачі поділяють на:

- Співнаправлені (в котрих енергія накачування здійснюється в напрямку розповсюдження корисного сигналу)

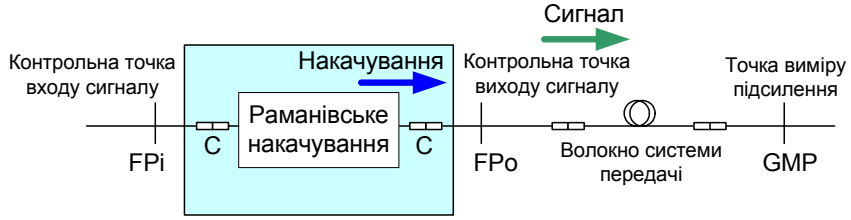


Рисунок 3.1 в)

- Зворотньонаправлені (в котрих енергія накачування здійснюється в напрямку, протилежному напрямку розповсюдження корисного сигналу)

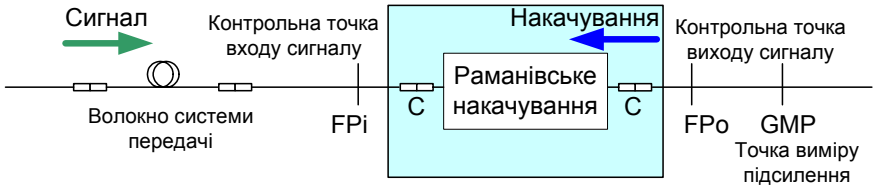


Рисунок 3.2

- Двонаправлені (в котрих енергія накачування здійснюється в обох напрямках)

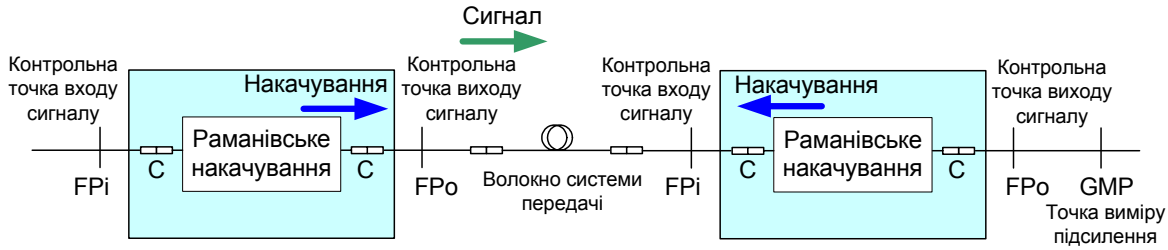


Рисунок 3.3

Маркування Раманівських підсилювачів згідно з G.665 здійснюється у такий спосіб:

Cnyz

C Символ позначки Раманівського оптичного підсилювача

n Номер:

- 1 - зосереджені підсилювачі (наприклад, додаткові підсилювачі)
- 2 - зосереджені попередні підсилювачі
- 3 - зосереджені лінійні підсилювачі
- 4 - зосереджений підсилювач, суміщений з передавачем (OAT)
- 5 - зосереджений підсилювач, суміщений з приймачем (OAR)
- 6- розподілений Раманівський підсилювач
- 7- складний розподілений та зосереджений підсилювач

y Перша літера:

- a – підсилювач для аналогової, одноканальної (однохвильової) передачі
- b - підсилювач для цифрової, одноканальної (однохвильової) передачі
- c – підсилювач для цифрової, багатоканальної (багатохвильової) передачі

z Друга літера:

- f – співнаправлене накачування
- r – зворотньонаправлене накачування
- b – двонаправлене накачування

Наприклад:

C6cr – зворотньонаправлений розподілений Раманівський підсилювач для цифрової багатоканальної передачі.

C7bb – двонаправлений складний Раманівський підсилювач для цифрової одноканальної передачі

Параметричні оптичні підсилювачі

Оптичні підсилювачі, що використовують ефект чотирихвильового змішування. Такі підсилювачі потребують великої потужності накачування (порядку 30 ÷ 70 Вт), мають значний коефіцієнт підсилення (до 50 дБ), але їх реалізація потребує значної складності, що стримує їхнє практичне використання.

Напівпровідникові оптичні підсилювачі

Напівпровідниковий оптичний підсилювач — підсилювач, активною речовиною якого є напівпровідниковий матеріал, а система накачування – електрична.

Напівпровідникові оптичні підсилювачі використовують стимульовану емісію фотонів, що виникає завдяки взаємодії фотонів випромінення сигналу з випромінювальною рекомбінацією носіїв заряду у напівпровіднику.

Їх перевагою є безпосереднє перетворення електричної енергії накачування в світлову енергію сигналу та не потребують мульиплексора (селективного розгалужувача). Мають малі розміри, що полегшує їх використання з оптичними компонентами системи.

Підсилювачі на волокні з домішками

Оптичні підсилювачі, що використовують як активний матеріал рідкоземельні елементи (або лантаніди – елементи з 57 по 71 в періодичній таблиці Менделєєва). Як правило, це Неодим (Nd) та Празеодим (Pr) для підсилення у вікні 1300 нм, Ербій (Er) та застосований з ним Ітербій (Yb) для підсилення у вікні 1550 нм.

З огляду на те, що у сучасних WDM системах використовуються C та L діапазони, найчастіше застосовують підсилювачі, виготовлені на волокні, легованому ербієм, EDFA.

В залежності від застосування оптичні підсилювачі класифікують як:

1. Попередній підсилювач (ПоП) (має низький рівень шуму) розташовують перед оптичним приймачем для збільшення відношення сигналу до шуму.
2. Лінійний підсилювач (ЛП) (має низький рівень шуму) вмикають на виході ділянки оптичного волокна для компенсування втрат, що вносяться волокном.
3. Підсилювачі потужності (ПП) (бустер) використовують для збільшення потужності джерела випромінення та встановлюють після оптичного передавача.

При застосуванні оптичних підсилювачів важливо визначити число каскадів оптичних підсилювачів, необхідних для кожного оптичного каналу. Число каскадів оптичних підсилювачів, допустиме в оптичному каналі, обмежується сумарним шумом, котрий вносить кожний підсилювач. Кожний підсилювач дещо погіршує відношення сигнал шум (OSNR). З досягненням мінімального відношення OSNR (тобто значення OSNR, нижче котрого на боці приймача будуть з'являтись помилки), стає необхідним оптико-електрично-оптичний вузол регенерації (OEO).

Окрім цього, у випадку використання оптичних підсилювачів потужності (бустерів) максимальна допустима потужність на канал не повинна перевищувати +10 дБм для каналу 10 Гбіт/с та +15 дБм для каналу 2,5 Гбіт/с та нижчої швидкості. Перевищення може викликати нелінійні ефекти в оптичному волокні.

§3.10 Хвильові конвертери

Хвильові конвертери (пасивний транспондер) призначені для перетворення однієї довжини хвилі в іншу. Так, якщо інформаційний сигнал у підмережі 1 було представлено каналом на довжині хвилі, котра вже задіяна в іншій підмережі - 2, то хвильовий конвертер може перетворити цей сигнал при переході з підмережі 1 в підмережу 2 на іншу вільну в підмережі 2 довжину хвилі, забезпечивши прозорий зв'язок між пристроями в різних підмережах. У хвильових конвертерах використовується ефект чотирихвильового змішування. Важливими параметрами є:

- Внесені втрати
- Перехресні завади
- Втрати на відбиття

§3.11 Оптичне волокно

Оптичне волокно — фізичне середовище передавання інформації.

Оптичне волокно у вигляді циліндра круглого поперечного перерізу з прозорого для оптичного випромінення діелектричного матеріалу забезпечує розповсюдження світла вздовж волокна за рахунок використання явища повного внутрішнього відбиття, що забезпечується наявністю оболонки показник заломлення котрої $n_2 = \sqrt{\varepsilon_2} = const$ менший від максимального значення показника заломлення матеріалу серцевини волокна $n_1(r) = \sqrt{\varepsilon_1(r)}$, (де r поточний радіус), (ε_2 и $\varepsilon_1(r)$) – відносна діелектрична проникність матеріалу оболонки та радіально-неоднорідного

матеріалу серцевини відповідно. При цьому основна частина енергії оптичного випромінення зосереджується в серцевині. Для захисту від зовнішніх впливів та підвищення механічної міцності волокна його оболонку покривають захисним покриттям.

Оптичні волокна в залежності від профілю показника заломлення в серцевині поділяють на східчасті (однорідні), градієнтні (степеневі) та волокна зі складним профілем показника заломлення.

Всі оптичні волокна поділяють на дві групи:

1. Одномодові (SMF, Single-Mode Fiber)
2. Багатомодові (MMF, Multi-Mode Fiber)

Одномодові оптичні волокна напрямляють одну моду в робочому діапазоні довжин хвиль.

У волоконно-оптичних системах передачі з WDM використовують одномодові оптичні волокна, котрі є середовищем передавання (відповідно фізичним рівнем оптичної транспортної мережі):

- Волокно без зсунутої дисперсії, так зване стандартне волокно (SF, Standard Fiber)
- Волокно із зсунутою дисперсією (DSF, Dispersion-shifted Single-mode Fiber)
- Волокно із зсунутою довжиною хвилі зрізу
- Волокно з ненульовою зсунутою дисперсією (NZDSF – Non-Zero Dispersion-shifted Single-mode Fiber)
- Волокно з ненульовою дисперсією для широкосмугового оптичного переносу.

Різні типи волокон є достатньо близькими за значенням величини загасання, але суттєво відрізняються за величиною хроматичної дисперсії, як показано на рисунку:

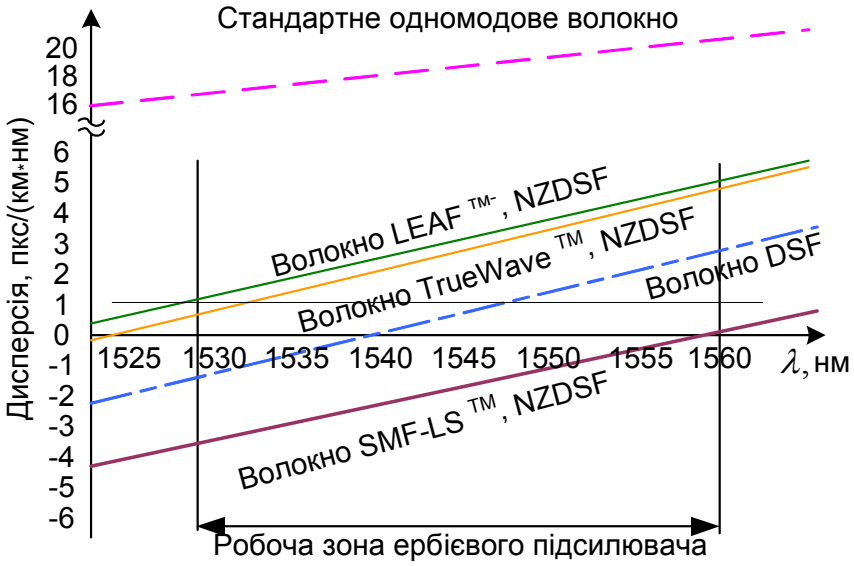


Рисунок 3.4

Параметри та характеристики оптичних волокон, визначені в рекомендаціях G.650.1, G.650.2, G.651, G.652, G.653, G.654, G.655, G.656:

- Погонне загасання у волокні в кабелі
- Хроматична дисперсія
- Поляризаційна дисперсія моди
- Втрати на макровигинах
- Діаметр поля моди
- Довжина хвилі зрізу одномодового волокна в кабелі

- Діаметр оболонки
- Неконцентричність серцевини
- Некруглість оболонки
- Стійкість до розриву

Оптичні волокна є лише середовищем розповсюдження сигналу. Для захисту волокон їх об'єднують в оптичні кабелі.

Оптичний кабель — кабельний виріб, що містить одне або більше оптичних волокон чи пучків оптичних волокон всередині спільної оболонки, поверх якої в залежності від умов експлуатації може знаходитись відповідне захисне покриття, в тому числі броня, силові та несучі елементи. За необхідності, оптичний кабель може мати в своєму складі також електричні провідники.

Для систем WDM використовуються волокна з оптичними параметрами згідно з рекомендаціями ITU.

В наступних таблицях приведені відповідні норми на допустимі відхилення геометричних параметрів, а також на оптичні характеристики одномодового волокна (механічні та геометричні параметри для всіх категорій волокон однакові):

Допустимі відхилення геометричних параметрів оптичних волокон

Параметр	Значення			
	ITU G.651 (багатомодові)	ITU G.652 (одномодові)	IEC 60793-2 (багатомодові)	IEC 60793-2 (одномодові)
Діаметр оболонки	±2,4%	±2 мкм	±3%	±3 мкм
Діаметр серцевини	±6%	–	±3%	–
Діаметр поля моди	–	±10%	–	±10%
Неконцентричність серцевини та оболонки	< 6%	–	< 6%	–
Некруглість оболонки	< 2%	< 2%	< 2%	< 2%
Некруглість серцевини	< 6%	–	< 6%	–
Неконцентричність поля моди і оболонки	–	±1мкм	–	–

Оптичні характеристики одномодових волокон згідно з рекомендаціями ITU (в дужках наведені категорії волокон відповідно до стандартів IEC) (механічні та геометричні параметри для всіх категорій волокон однакові).

Характеристика		G652				G.653[6]		G.654			G.655			G.656
		A (B.1.1)	B	C (B.1.3	D	A (B.2)	B	A	B (B.1.2)	C	A	B (B.4)	C	A
Довжина хвилі зрізу одномодового волокна у складі кабелю, нм		Рек. ITU-T 03/2003 р.				12/2003 р.		Рек. ITU-T 06/2004 р.			Рек. ITU-T 03/2003 р.			06.2004 р.
		≤ 1260				≤ 1270		≤ 1530			≤ 1450			≤ 1450
Діаметр модового поля на довжині хвилі λ, мкм		λ=1310 нм: (8,6÷9,5) ± 0,7				λ=1550нм: (7,8÷8,5) ± 0,8		λ=1550нм: (9,5÷10,5) ± 0,7	λ=1550нм: (9,5÷13,0) ± 0,7	λ=1550нм :(9,5÷10,5) ± 0,7	λ=1550 нм: (8,0 ÷ 11,0) ± 0,7			λ=1550 нм: (7,0÷11,0) ±0,7 [5]
Коеф.загасання волокна у складі кабелю (на відповідній довжині хвилі λ), дБ/км	λ=1310 нм	≤0,50	≤0,40	–		–		–			–			–
	λ=1550 нм	≤0,40	≤0,35	≤0,30		≤ 0,35		≤ 0,22			≤ 0,35			≤ 0,35
	λ=1625 нм	–	≤0,40	–		–		–			–	≤ 0,40		≤ 0,40
	1310÷1625[1]	–		≤0,40		–		–			–			–
	λ=1383±3нм	–		[2]		–		–			–			–
	λ=1460 нм	–				–		–			–			≤ 0,40
Макрозгин/втрати 100витк.R=30мм,дБ	λ=1550 нм	≤0,50	–			≤0,50		≤0,50			≤0,50	–		–
	λ=1625 нм	–	≤0,50			–		–			–	≤0,50		≤0,50
Коефіцієнт $ПМД_Q$ за числа кабельних секцій M=20 та рівня ймовірності Q=0,01%, пс/км$^{1/2}$		≤0,5	≤0,2	≤0,5	≤0,2	≤0,5	≤0,2	≤ 0,5	≤ 0,2		≤ 0,5		≤ 0,2	≤0,20
Хроматична дисперсія:														
- діапазон довжин хвиль, нм;		–				1525÷1575		–			1530÷1565	1530÷1565 і 1565÷1625		1460÷1625
- коефіцієнт хроматичної дисперсії D, пс/(нм·км);		–				$\lvert D \rvert \le 3,5$		$D_{1550} \le 20,0$	$D_{1550} \le 22,0$	$D_{1550} \le 20,0$	$\lvert D \rvert_{min} \ge 0,1$ $\lvert D \rvert_{max} \le 6,0$	$\lvert D \rvert_{min} \ge 1,0$ [3] $\lvert D \rvert_{max} \le 10$ [3]		$D_{min} \ge 2,0$ $D_{max} \le 14$
- $\lvert D \rvert_{max} - \lvert D \rvert_{min}$		–				–		–			–	≤5	–	–
- λ_{min} та λ_{max}, нм		–				–		–			1530;1565[4]	1530;1565 [4]	[3]	1460; 1625 [4]
- знак D		додатній				–		додатній			додатній або від'ємний			додатній
- д/хвилі λ_0 нульової дисперсії, нм		от 1300 до 1324				1500÷1600		–			–			–
- крутизна дисперсії:														
S_{1550}, пс/(нм^2·км)		–				–		≤ 0,070			–			–
S_0, нульової дисперсії, пс/(нм^2·км)		≤ 0,093				≤ 0,085		–			–			–

[1] — Ця смуга може бути розширена до 1260 нм додаванням до втрат за λ = 1310 нм значення 0,07 дБ/км, що викликане розсіюванням Релея. В цьому випадку довжина хвилі зрізу одномодового волокна в складі кабелю не повинна перевищувати 1250 нм.
[2] — Вказане середнє значення загасання на цій довжині хвилі повинно бути не більшим специфікованої на λ = 1310 нм величини, після водневого старіння у відповідності з рекомендацією IEC 60793-2-50 волокна категорії B1.3.
[3] — Для довжин хвиль від 1565 до 1625 нм величина коефіцієнта хроматичної дисперсії, а також λ_{min} та λ_{max}, для волокна G.655.B, G.655.C вивчаються.
[4] — D_{min} не обов'язково відповідає λ_{min} та D_{max} не обов'язково відповідає λ_{max}
[5] — Якщо Раманівське накачування використовується поза межами вказаного діапазону довжин хвиль, характеристики волокна повинні відповідати забезпеченню накачування.
[6] — Волокно не застосовується на багатоканальних WDM системах з рівномірною сіткою частот, де груповий сигнал внаслідок високої потужності викликає значні нелінійні явища, але може бути придатним для WDM систем з нерівномірною сіткою частот.

§3.12 Волокна на основі фотонних кристалів

Хвилеводні властивості таких волокон забезпечують одночасно і ефект повного внутрішнього відбиття і наявність фотонних щілин, котрі "дозволяють" або "забороняють" розповсюдження випромінення в спектральних діапазонах, які визначаються розмірами порожнин в структурі волокна та їх кількістю.

Кількість напрямлюваних мод в таких волокнах визначається відношенням сумарних площ повітряних порожнин до площі кварцу між ними.

Наявність порожнин у волокні дозволяє на порядок збільшити відношення показників заломлення серцевина-оболонка порівняно зі стандартними волокнами.

Волокна на основі фотонних кристалів дозволяють створення одномодових світловодів (шляхом змін геометричних розмірів структури фотонного кристалу) з великим діаметром серцевини, що забезпечує зменшення впливу нелінійних явищ.

Найбільш поширеним методом виготовлення волокон на основі фотонних кристалів є виготовлення заготовки із застосуванням тонкостінних капілярів, після чого витягується волокно. Для створення волокна з порожньою серцевиною об'єднують кілька центральних капілярів, виготовлених з легко розчинного скла, після виготовлення заготовки вона промивається в кислому розчині, внаслідок чого виникає порожня серцевина.

Вперше волокно на основі фотонного кристалу було отримано у 1995 р. співробітниками фірми Blaze Photonics, (Англія). Структура волокна показана на рисунку 3.5. Діаметр порожнин, що проходять по всій довжині волокна складав 0,3 мкм, відстань між центрами каналів 2 ÷ 3 мкм. В поперечному перерізі волокно мало гексагональну форму, що визначалось структурою укладання капілярів в трубці.

Рисунок 3.5

Найбільш поширеними типами фотоннокристалічних волокон є волокна з цільною серцевиною і оболонкою з фотонного кристалу (як на рисунку 3.5), котра має менший, ніж серцевина, показник заломлення, та з порожньою серцевиною як показано на рисунку 3.6.

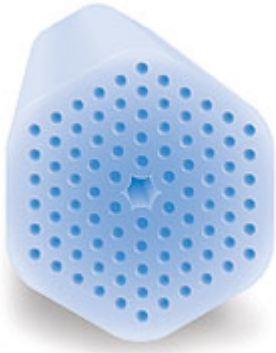


Рисунок 3.6

Волокна з порожньою серцевиною мають великий коефіцієнт загасання (більше 10 дБ/км на λ=1,55 мкм), оскільки втрати в таких світловодах визначаються не розсіюванням та поглинанням, як у звичайних кварцових волокнах, а відбиваючою здатністю оболонки з фотонного кристалу в поперечному (радіальному) напрямку, на що впливає досконаліть структури в радіальному напрямку.

Волокна з цільною серцевиною мають коефіцієнт загасання, співставимий з коефіцієнтом загасання в одномодових волокнах із звичайною структурою. Велика поперечна площа серцевини такого волокна дає змогу передавати потоки світла великої інтенсивності. Але перешкодою широкого використання таких волокон для передачі інформації стає їхня велика вартість (порядку 1000 $/м).

Застосовуватись волокна на основі фотонних кристалів можуть також для створення компенсаторів дисперсії, оптичних підсилювачів, які використовують нелінійні явища у волокні (оскільки в таких волокнах за зменшення геометричних розмірів серцевини знижуються енергетичні пороги всіх нелінійних ефектів), оптичних перемикачів, а також лазерів на основі фотонних кристалів.

§3.13 Характеристика WDM системи в цілому

WDM систему в цілому при вводі її в експлуатацію можна охарактеризувати такими параметрами та результатами вимірювань:

- Вимірюванням BER для всіх каналів.
- Вимір OSNR.
- Перевірка стабільності довжин хвиль.
- Вимірювання перехресних завад.
- Перевірка стійкості роботи системи за умови видалення (додавання) компонентів каналу. (Зміна конфігурації системи не повинна вплинути на рівень сигналів у інших каналах).
- Холодний запуск системи. (Виключення системи та її повторне включення (впродовж не менше 1 хвилини після виключення).
- Перевірка бюджету системи. (Запас втрат в лінії.)
- Вимірювання дисперсійної, шумової, потужністної характеристик.
- Затримка передавання даних

§3.14 Параметри, що впливають на ефективність роботи елементів WDM систем

Основні параметри елементів WDM системи описані в рекомендаціях G.662, G.663, G.665, G.671, G.692 та ГСТУ 45.017-2001.

Розглянемо деякі параметри елементів WDM системи більш детально.

Дисперсія:

Дисперсія це явище збільшення тривалості імпульсу, що передається вздовж волокна. Дисперсія має розмірність часу та визначається як середньоквадратична різниця тривалості імпульсу на виході та на вході волокна $\tau(l) = \sqrt{t_{вих.}^{\ 2} - t_{вх.}^{\ 2}}$. Оскільки WDM системи працюють на одномодовому волокні, то вплив на передачу імпульсів дають хроматична та поляризаційна дисперсія моди, а міжмодова дисперсія відсутня.

- Хроматична дисперсія

Як зазначалось раніше, хроматична дисперсія — явище, котре полягає у збільшені ширини світлового імпульсу при його розповсюдженні по волокну внаслідок кінцевої ширини спектральної лінії випромінення через що спектральні складові оптичного сигналу розповсюджуються з різними груповими швидкостями. Хроматична дисперсія обмежує швидкість передавання та довжину регенераційної ділянки.

- Поляризаційна дисперсія моди

Причиною виникнення поляризаційної дисперсії моди є порушення осьової симетрії радіального розподілу показника заломлення в поперечному перерізі волокна через відхилення цього перерізу від ідеально круглої форми і механічні напруження у волокні. Внаслідок цього дві взаємно ортогонально поляризовані складові моди, яка розповсюджується по волокну, мають різну швидкість, що призводить до збільшення тривалості імпульсу.

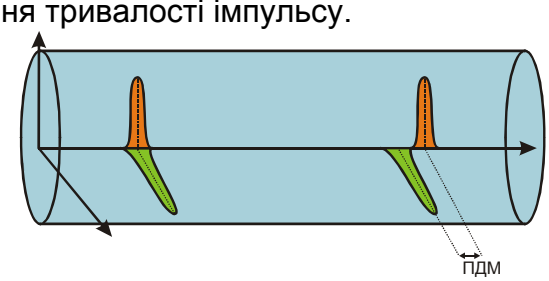


Рисунок 3.7

Процес накопичення ПДМ відбувається за законами теорії ймовірності, оскільки неоднорідності, що її викликають, розподілені випадковим чином вздовж волокна.

Таким чином, можливі лише ймовірносні оцінки вимірювання ПДМ.

Нелінійні явища

Для технології WDM велику роль відіграє величина інтенсивності потужності світлового потоку, що передається по волокну. Висока інтенсивність потужності (тобто, щільність потужності на одиницю площі поперечного перерізу волокна) призводить до появи нелінійних явищ. При використанні технології WDM потрібно враховувати такі нелінійні явища:

- Вимушене зворотне розсіювання Бріллюена – Мандельштама

Це розсіювання світла великої інтенсивності, що виникає в нелінійному середовищі внаслідок збудження когерентних акустичних коливань молекул речовини, причому світлова хвиля, що розсіюється, має частоту $\nu p = \nu - da$, де ν – частота падаючої хвилі, da – частота акустичних коливань часток речовини

Пов'язане з появою в середовищі розповсюдження сигналу гіперзвукових хвиль розсіяне випромінення Бріллюена – Мандельштама поширюється в напрямку, протилежному до напрямку розповсюдження випромінення оптичного сигналу, що його викликає.

- Вимушене комбінаційне розсіювання (Рамана)

Це розсіювання світла на коливаннях поляризованих молекул матеріалу оптичного волокна, що спричинює появу в спектрі оптичного сигналу, крім складників з частотою ν, нових складників з частотами ν-d і ν + d, де ν – частота оптичного сигналу, d – частота коливань молекул.

ВКР виникає за впливу світла великої інтенсивності на активну речовину ОП, що спричинює поляризацію молекул і їхні теплові коливання

- Фазова самомодуляція, перехресна фазова модуляція

Фазова самомодуляція — це зміна в часі фази імпульсів цифрового сигналу, що передається по оптичному волокну, яка виникає внаслідок залежності показника заломлення матеріалу оптичного волокна від інтенсивності електромагнітного поля.

Фазова самомодуляція спричинює розширення енергетичного спектра передаваного сигналу.

Перехресна фазова модуляція — це зміна в часі фази імпульсів цифрових сигналів, що передаються у різних каналах ВОСП із спектральним розділенням каналів, яка виникає внаслідок взаємодії канальних сигналів через залежність показника заломлення матеріалу оптичного волокна від інтенсивності електромагнітного поля.

- Чотирихвильове змішування

Чотирихвильове змішування — нелінійна взаємодія в оптичному волокні двох або більшої кількості світлових хвиль з різними частотами, яка породжує нові світлові хвилі з комбінаційними частотами

ЧХЗ виникає внаслідок залежності показника заломлення матеріалу оптичного волокна (ОВ) від інтенсивності світла. Інтенсивність нових світлових хвиль максимальна, коли частоти поширюваних світлових хвиль розташовані в околі частоти нульової хроматичної дисперсії ОВ. Чотирихвильове змішування призводить до виникнення перехресних завад та шумів на довжинах хвиль, котрі не використовуються для передавання інформації

Номінальна несівна частота оптичного каналу

Частота, що відповідає максимуму енергетичного спектра оптичного випромінювання, яке використовують для формування канального сигналу, називається несівною частотою.

Номінальна несівна частота — це несівна частота, котра обирається під час розробки обладнання і повинна відповідати сітці несівних частот згідно з G.664.1 та G.664.2.

Визначення номінальної центральної частоти каналу та відхилення від центральної частоти каналу надані у рекомендації G.692 Визначення частотного діапазону каналу показане у G.671.

Інтервал між каналами

Інтервал між несівними частотами двох сусідніх каналів

Інтервал між каналами повинен відповідати частотному плану WDM системи та сітки частот, що регламентована у G.664.1 та G.664.2.

Смуга пропускання на рівні 1 або 3 дБ

Згідно з G.671, смуга пропускання оптичної потужності D_1 (D_3) на 1 (3) дБ — це повний частотний діапазон, в якому втрати менші на 1 (3) дБ відносно мінімального рівня втрат в цьому діапазоні. Ширина смуги пропускання є симетричною відносно номінальної центральної частоти спектра f_c. Тобто втрати повинні бути в межах 1 (3) дБ у інтервалі $f_c - D_1/2$ $\left(f_c - D_3/2\right)$ та $f_c + D_1/2$ $\left(f_c + D_3/2\right)$.

Ізоляція каналів

Ізоляція каналів характеризується як між канальні завади на дальньому кінці. Міжканальні завади на виходах оптичного демультиплексора на простому прикладі трьохпортового однонаправленого пристрою можна визначити, як частку потужності, котра подається на довжині хвилі λ_1 на порт 3 і котра виміряна на довжині хвилі λ_1 на порту 2, котрий відповідає довжині хвилі λ_2, як показано на рисунку.

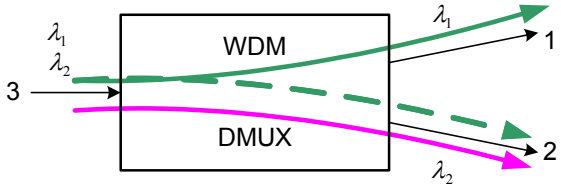


Рисунок 3.8

Перехідні завади (міжканальні завади)

Завади в оптичному каналі, що виникають внаслідок переходу в даний канал частини потужності сигналів інших оптичних каналів. Міра перехідних завад вказує на ефективність роботи пристрою WDM системи.

Варіація потужності в спектрі каналу

Варіація рівнів втрат є різницею між мінімальним та максимальним рівнем втрат у виміряній чи номінальній смузі пропускання. Визначає нерівномірність розподілення втрат, яка свідчить про варіацію потужності при зміні довжини хвилі передавача в межах номінальної смуги пропускання. Також важливою характеристикою є крутизна нерівномірності розподілу втрат, що вказує на локальну зміну рівня втрат потужності каналу при зміні довжини хвилі передавача.

Однорідність каналів

Однорідність каналів є мірою розбіжності рівня потужності, що передана, або втрат, що вносяться, від каналу до каналу в мультиплексорі/демультиплексорі.

Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (Polarization Dependent Losses).

Втрати, що залежать від поляризації, визначають максимальну розбіжність в загасанні сигналу для його двох ортогональних складових SOP (State of Polarization) (Стан поляризації)

Внесені втрати

Як визначає G.671, втрати, що вносяться, –зменшення оптичної потужності на виході пристрою відносно потужності на вході пристрою, виражене у дБ.

$$IL = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{вх.}}{P_{вих.}}\right)$$

Направленість

Міжканальні завади на виході оптичного мультиплексора (міжканальні завади на ближньому кінці) визначають коефіцієнт направленості.

Її на простому прикладі трьохпортового однонаправленого пристрою можна визначити як частку потужності, що передавалась на довжині хвилі λ_1 і котра виміряна на канальному виході 2 (котрий відповідає довжині хвилі λ_2) за умови, що сигнал передано на канальний вихід 1, який відповідає довжині хвилі λ_1, як показано на рисунку.

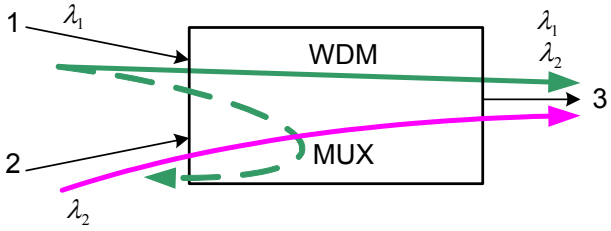


Рисунок 3.9

Втрати на відбиття

Втрати на відбиття характеризують узгодженість пристрою системи і визначаються як відношення потужності на вході пристрою до потужності, відбитої від входу пристрою, виражене в дБ.

$$ORL = 10 \cdot \lg \frac{P_{вх.}}{P_{від.}}$$

Коефіцієнт підсилення каналу

Відношення потужності сигналу окремого каналу на виході оптичного підсилювача до її значення на вході підсилювача, за нормальних умов експлуатації

Коефіцієнт підсилення перехресного насичення

Визначає зміну коефіцієнта підсилення каналу від зміни потужності, що подається на вхід іншого (інших) каналу.

Рівномірність коефіцієнта підсилення

Залежність коефіцієнта підсилення для різних каналів за однакової вхідної потужності.

Поляризаційна залежність коефіцієнта підсилення

PDG (Polarization Dependent Gain) визначається залежністю коефіцієнта підсилення від різних вхідних станів поляризації.

Профіль підсилення

Це залежність коефіцієнта підсилення каналу від довжини хвилі каналу.

Підсилене спонтанне випромінювання

Випромінювання, що виникає внаслідок самовільного (спонтанного) переходу мікрочастинок активної речовини ОП з високого енергетичного рівня на нижчий рівень. ПСВ є власним шумом ОП

Шум-фактор

Як показано у рекомендації G.661, шум-фактор NF (Noise Figure) визначає погіршення відношення сигнал/шум після проходження сигналу через оптичний підсилювач, визначається в дБ.

Втрати на з'єднання (Вносимі втрати)

Величина, на котру збільшується загасання сигналу внаслідок з'єднання волокон, або під'єднання рознімного з'єднувача. Визначається в дБ.

Тривалість переключення

Мінімальний час, необхідний блоку системи для переключення на резервний модуль або для переключення напрямку тракту передавання.

Q-фактор

Це відношення сигнал/шум (Electrical Signal-to-Noise Ratio (ESNR)) на вході електричної вирішувальної схеми приймача.

Питанням виміру Q-фактора присвячена рекомендація ITU O.201. Взаємозв'язок Q-фактора та параметра BER (рівня бітових помилок) описано у ITU G.Sup. 39.

Згідно з O.201 (дивись рисунок) Q-фактор визначається як $Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$, де μ_1 та μ_0 рівні напруги передачі "1" та "0"; а σ_1 та σ_0 є девіаціями розподілення шуму на рівнях "1" та "0".

μ є положенням порогу вирішення.

Sampling phase — випадковий період фази.

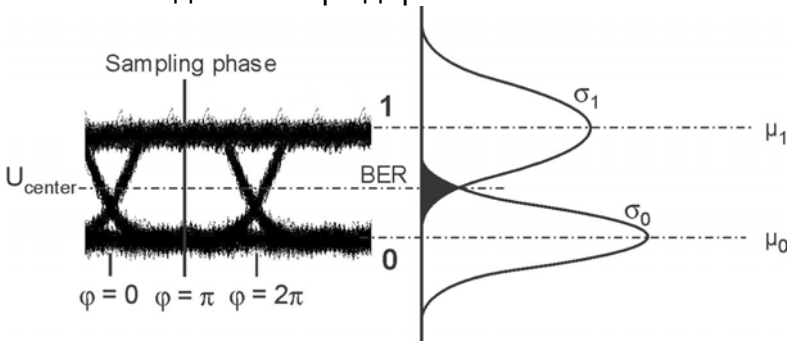


Рисунок 3.10 (I.1/O.201)

§3.15 Оптичні фільтри

Оптичні фільтри в системах WDM, у вигляді матричної хвильоводної ґратки AWG (Array Waveguide Grating) в хвильоводі, використовуються для фільтрації каналів на вході демультиплексора та виході мультиплексора і виділення оптичного контрольного каналу.

Оптичний фільтр на вході фотоприймача гасить сигнали від сусідніх каналів, що покращує якість приймання інформації.

На виході оптичних підсилювачів оптичні фільтри, у вигляді брегівських ґраток, використовують для зменшення шуму в каналі.

§3.16 Оптичні з'єднувачі

Для з'єднання оптичного кабелю з обладнанням використовують оптичні розніми.

Оптичні розніми складаються з оптичних з'єднувачів (конекторів) та розеток (адаптерів).

Оптичний з'єднувач (конектор) є механічним пристроєм, яким закінчується волокно. Він призначений для з'єднання волокна з обладнанням за допомогою розетки (адаптера), котра також є механічним пристроєм, яким закінчується оптичний вихід обладнання.

Оптичний з'єднувач повинен гарантувати точне юстування, захист від зовнішніх чинників (волога, пил, температура, розтягування), багатократне з'єднання-роз'єднання (згідно стандарту IEC 61300-2-2 не менше 500 разів), зручність в експлуатації та малу вартість.

Загальні вимоги до якості виготовлення оптичних з'єднувачів наведено в документі TIA TSB-149.

Основні оптичні параметри оптичних з'єднувачів є такими:

- Внесені втрати
- Обернені втрати

Згідно стандарту TIA/EIA 568A величина обернених втрат для багатомодового волокна в оптичних з'єднувачах не повинна перевищувати мінус 20 дБ, а для одномодових волокон мінус 26 дБ.

Відповідно до величини обернених втрат оптичні з'єднувачі поділяють залежно від категорії полірування:

Нормальне полірування оптичної поверхні з'єднувача PC (втрати менші від мінус 30 дБ)

Суперполірування (Super) PC (втрати менші від мінус 40 дБ)

Ультраполірування (Ultra PC) (втрати менші від мінус 50 дБ)

Полірування під кутом до оптичної осі (Angled) PC (втрати менші від мінус 60 дБ)

Основними типами оптичних з'єднувачів на даний час є:

ST-конектор

ST тип конектора від англійського Straight Tip. Конектор має різьбовий тип з'єднання з розеткою. Фіксація відбувається поворотом оправи навколо осі конектора, при цьому обертання основи конектору теоретично має бути відсутнє за рахунок наявності пазу в розетці. Наявність пружинного елементу забезпечує необхідне притискання. Використовується як правило для багатомодових волокон. Має низький захист наконечника, оскільки наконечник має великий виступ.

Рисунок 3.11 Загальний вигляд ST-конектора

SC-конектор

SC тип конектора від англійського Subscriber Connector. Конектор має в перерізі прямокутну форму. З'єднання фіксується защіпками (push-pull), такий тип фіксації зручний для монтажу і дозволяє порівняно з різьбовим типом збільшити щільність монтажу вхідних портів на обладнанні. Існують дуплексні варіанти конекторів такого типу. Використовується як для багатомодових волокон так і для одномодових волокон.

Рисунок 3.12 Загальний вигляд SC-конектора

LC-конектор

LC тип конектора — малогабаритний варіант SC конектора. Конектор має в перерізі прямокутну форму. З'єднання фіксується защіпками (push-pull). Використовується як для багатомодових волокон так і для одномодових волокон. На відміну від SC конектора LC конектор більше підходить для багатопортових систем завдяки малим габаритам.

Рисунок 3.13 Загальний вигляд LC-конектора

FC-конектор

LC тип конектора виористовується для одномодових волокон. Конектор має різьбовий тип з'єднання з розеткою. Має високий захист наконечника.

Рисунок 3.14 Загальний вигляд FC-конектора

FDDI-конектор

FDDI тип конектора використовується для підключення дуплексного кабелю (як і дуплексний варіант SC конектора). З'єднання фіксується защіпками (push-pull). Для виключення можливості неправильного під'єднання конектор має несиметричний профіль. Технологія FDDI передбачає чотири типа портів, їх ідентифікація здійснюється за кольором спеціальної вставки на конекторі, або за літерами на маркуванні.

Рисунок 3.15 Загальний вигляд FC-конектора

E-2000

E-2000 тип конектора має прямокутний профіль перерізу та малі габарити, завдяки чому підходить для багатопортових систем. З'єднання фіксується защіпками (push-pull), фіксуючий механізм відкривається лише після вийняття ключа.

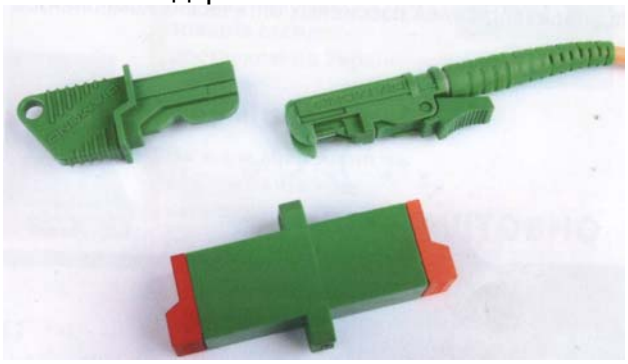


Рисунок 3.16 Загальний вигляд E-2000 конектора, розетки та ключа

Останнім часом набули поширення малогабаритні з'єднувачі SFF (Small Form Factor) (стандарти ISO/IEC 11801 та TIA-568B).

Серед представників цього типу рознімів широко застосовуються з'єднувачі типу MT-RJ та VF-45.

MT-RJ конектор

MT-RJ тип конектора має габарити та фіксацію як і конектор RJ45, призначений для дуплексного передавання по двох оптичних волокнах. Корпус конектора має напрямлювальні сталеві штирі, в котрі в заводських мовах вставлено оптичні волокна. Волокно вставляється в конектор під час монтажу і підварюється до волокон, вставлених при виробництві в заводських умовах.

Рисунок 3.17 Загальний вигляд MT-RJ конектора

VF-45 конектор

VF-45 тип конектора використовує напрямлювальні канавки V-подібного типу. Конектор має габарити та фіксацію як і конектор RJ45.

Рисунок 3.18 Загальний вигляд VF-45 конектора та розетки

Загальний вигляд з'єднувальних шнурів різних типів наведено на рисунку 3.18

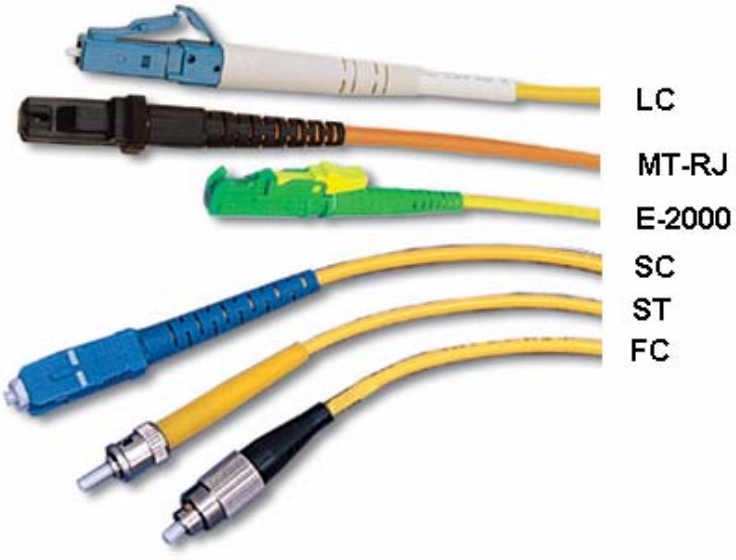


Рисунок 3.18 Загальний вигляд з'єднувальних шнурів різних типів

§3.17 Норми на параметри пасивних оптичних компонентів відповідно до рекомендації ITU G.671.

Рекомендація G.671 (редакція від 01 – 2005):

Оптичний мультиплексор введення/виведення (OADM) підсистеми (для WDM)

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Втрати, що внесені в канал (дБ)			
Від входу до виходу	sba	sba	
Від входу до виділення	sba	sba	
Від вводу до виходу	sba	sba	
Відхилення величини вносимих втрат в каналі (дБ)	ffs	ffs	ffs
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	
Кількість каналів введення/виведення/прохідних (транзитних)	sba	sba	
Діапазон довжин хвиль каналу (нм) (CWDM та WWDM пристроїв)	sba	sba	
Ширина смуги пропускання на рівні 1 дБ (нм)	sba	sba	
Нерівномірність (дБ)	ffs	na	
Входу по відношенню до виходу	na	sba	
Гасіння каналу (дБ)			
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Асиметричний компонент розгалуження (без вибору довжини хвилі) F = 20%, 10%, 5%, 2% та 1%. (описано в стандарті IEC (п.1.1; та п.1.3.19/IEC 60875-1) та рекомендації ITU G.671 п. 3.1.2)

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати – основний порт (дБ)	Дивись таблицю нижче	Дивись таблицю нижче	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Вносимі втрати – відгалужуючий порт (дБ)	Дивись таблицю нижче	Дивись таблицю нижче	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) – основний порт (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) – відгалужуючий порт (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Втрати, що залежать від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Направленість (дБ)	na	ffs	ffs
ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

F	Головний порт		Порт сигналу	
	Min. IL (дБ)	Max. IL (дБ)	Min. IL (дБ)	Max. IL (дБ)
80/20	ffs	ffs	ffs	ffs
90/10	ffs	ffs	ffs	ffs
95/5	ffs	ffs	ffs	ffs
98/2	ffs	ffs	ffs	ffs
99/1	ffs	ffs	ffs	ffs
ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення.				

Оптичний атенюатор

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ) (фіксований атенюатор)	sba	sba	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	мінус 40	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	0.3	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Допуск на трати що вносяться (дБ)	±15%	±15%	ffs
Робочий діапазон загасань (регульований атенюатор) (дБ)	sba	sba	ffs
Крок зміни загасання (регульований атенюатор) (дБ)	sba	sba	ffs
ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення.			

Оптичний компонент розгалуження (без вибору довжини хвилі) 1 × X та 2 × X портів, де X = 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24 та 32.

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ)	Дивись таблицю нижче	Дивись таблицю нижче	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	мінус 40	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	0,1 (1 + $\log_2 X$)	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Направленість (дБ)	na	50	ffs
Однорідність (дБ)	1,0 $\log_2 X$	na	ffs
ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення.			

В цій таблиці зведено значення симетричного розподілу потужності між вихідними портами розгалужуючого пристрою

X	1 × X		2 × X	
	Min. IL (дБ)	Max. IL (дБ)	Min. IL (дБ)	Max. IL (дБ)
2	2,6	4,2	2,5	4,5
3	4,1	6,3	4,0	6,6
4	5,4	7,8	5,3	8,1
6	6,8	9,9	6,7	10,2
8	8,1	11,4	8,0	11,7
12	9,5	13,5	9,4	13,8
16	10,8	15,0	10,7	15,3
24	12,0	17,1	11,95	17,4
32	13,1	18,6	13,1	18,9

Оптичний з’єднувач (конектор)

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ)			
Для одномодового волокна (Зауваження 7)	0,5	na	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Для багатомодового волокна (Зауваження 7)	1,0	na	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	мінус 35 (Зауваження 7 and 8)	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	0,1	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Зауваження – Величина внесених втрат та коефіцієнту відбиття також раховують ефект старіння з’єднання ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення.			

Динамічний коректор каналу ((DCE) – Dynamic channel equalizer)

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ)	6	ffs	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	na	мінус 45	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм)	sba	sba	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)			
Повний динамічний діапазон загасань каналу	0.4	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Динамічний діапазон загасань каналу зі зменшенням на 10 дБ	0,2	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Гасіння каналу (дБ)	na	40	
Позасмугове загасання (дБ)	na	40	
Роздільна здатність ослаблення каналу(дБ)	0,2	na	
Динамічний діапазон загасань каналу (дБ)	na	20	
Нерівномірність (дБ)	0,2	na	
Часовий проміжок відгуку каналу (мс)	30	na	
Смуга каналу (нм)	sba	sba	
Число каналів	sba	sba	
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Оптичний фільтр

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ)			
Смуга пропускання	sba	sba	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Смуга пригнічення	na	sba	
Відбиття (дБ)	мінус 40	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм)	sba	sba	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Нерівномірність (дБ)	ffs	na	ffs
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Оптичний ізолятор

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ)	ffs	na	
Обернені втрати (ізоляція)	na	sba	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	мінус 40	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Пасивний компенсатор дисперсії (хроматичної)

Параметр (еквівалентна компенсація км G.652)	Макс.	Мін.	Тестовий метод
Вносимі втрати (дБ)			IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
2,5	ffs	na	
5	ffs	na	
7,5	ffs	na	
10	ffs	na	
20	3,6	ffs	
30	ffs	ffs	
40	5,5	ffs	
50	ffs	ffs	
60	7,5	ffs	
70	ffs	ffs	
80	9,5	ffs	
90	ffs	ffs	
100	11,5	ffs	
110	ffs	ffs	
120	13,5	ffs	
Відбиття (дБ)	мінус 27	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 5)	1565	1525	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Дисперсія в робочому діапазоні довжин хвиль (Зауваження 6) (пс/нм)			ffs
2,5	ffs	ffs	
5	ffs	ffs	
7,5	ffs	ffs	
10	ffs	ffs	
20	мінус 310	мінус 360	
30	ffs	ffs	
40	мінус 620	мінус 710	
50	ffs	ffs	
60	мінус 930	мінус 1070	

Параметр (еквівалентна компенсація км G.652)	Макс.	Мін.	Тестовий метод
70	ffs	ffs	
80	мінус 1240	мінус 1420	
90	ffs	ffs	
100	мінус 1550	мінус 1780	
110	ffs	ffs	
120	мінус 1860	мінус 2140	
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (Зауваження 7) (пс)			G.650 (Зауваження 3)
2,5	ffs	na	
5	ffs	na	
7,5	ffs	na	
10	ffs	na	
20	ffs	na	
40	ffs	na	
60	ffs	na	
80	ffs	na	
100	ffs	na	
120	ffs	na	
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Оптичні з’єднувачі

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ) (Зауваження 9)			IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Механічних з’єднувачів	0,50	na	
Зварне з’єднання (Активна юстировка)	0,30	na	
Зварне з’єднання (Пасивна юстировка)	0,50	na	
Відбиття (дБ)			IEC 61300-3-6
Механічне з’єднання	мінус 40	na	
Зварне з’єднування	мінус 70	na	
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Оптичний комутатор

Параметр	комутатор 1 × X		комутатор 2 × 2		Метод тестування
	Max	Min	Max	Std	
Вносимі втрати (дБ)	2,5 | $\log_2$X (Зауваження 4)	na	ffs	na	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	мінус 40	na	мінус 40	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм)	ffs	ffs	ffs	ffs	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs | 0,1·(1+$\log_2$X) (Зауваження 4)	na	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Тривалість переключення	10 с | 20 мс (Зауваження 4)	na	ffs	na	ffs
Відтворюваність (дБ)	0,25	na	ffs	na	ffs
Однорідність (дБ)	ffs | 0,4 $\log_2$X (Зауваження 4)	na	ffs	na	ffs
Ізоляція (дБ)	sba	na	sba	na	ffs
Направленість (дБ)	na	50	na	ffs	ffs
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується					

Оптичне закінчення

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Відбиття (дБ)	мінус 50	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Регульований фільтр

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Вносимі втрати (дБ)			IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Смуга пропускання	sba	sba	
Смуга пригнічення	na	sba	
Відбиття (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм)	sba	sba	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Ширина смуги пропускання на рівні 1 дБ (нм)	sba	sba	ffs
Ширина смуги пропускання на рівні 3 дБ (нм)	sba	sba	ffs
Нерівномірність (дБ)	ffs	na	ffs
Повторюваність встановлення смуги пропускання (нм)	ffs	na	ffs
Час настроювання (встановлення) (с)	sba	sba	ffs
Відхилення внесених втрат каналу (дБ)	ffs	ffs	ffs
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

MUX/DMUX

Пристрої для Грубого (Розрідженого) WDM (CWDM)

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Внесені втрати каналу (дБ)	ffs	ffs	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відхилення внесених втрат каналу (дБ)	ffs	ffs	ffs
Відбиття (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-6
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Діапазон робочих хвиль (нм)	sba	sba	
Нерівномірність (дБ)	ffs	ffs	
Ізоляція від сусіднього каналу (дБ)	na	sba	
Ізоляція від віддаленого каналу (дБ)	na	sba	
Двонаправлена ізоляція (ближній кінець) (дБ)	na	sba	
Однонаправлене загасання перехідних завад (дальній кінець) (дБ)	na	sba	
Двонаправлене загасання перехідних завад (ближній кінець) (дБ)	na	sba	
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Пристрої для щільного WDM (DWDM) 1 x X

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Внесені втрати каналу (дБ)	sba	sba	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відхилення внесених втрат каналу (дБ)	ffs	ffs	ffs
Відбиття (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-6
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Частотний діапазон каналу (ГГц)	sba	sba	ffs
Нерівномірність (дБ)	ffs	na	ffs
Ізоляція від сусіднього каналу (дБ)	na	sba	
Ізоляція від віддаленого каналу (дБ)	na	sba	ffs
Двонаправлена ізоляція (ближній кінець) (дБ)	na	sba	ffs
Однонаправлене загасання перехідних завад (дальній кінець) (дБ)	na	sba	ffs
Двонаправлене загасання перехідних завад (ближній кінець) (дБ)	na	sba	ffs
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Пристрої для широкого WDM (WWDM) 1 × X

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Внесені втрати каналу (дБ)	1,5 $\log_2 X$	ffs	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відхилення внесених втрат каналу (дБ)	ffs	ffs	ffs
Відбиття (дБ)	мінус 40	na	IEC 61300-3-6
Діапазон робочих хвиль (нм) (Зауваження 1)			
1310 нм вікно	1360	1260	IEC 61300-3-7
1550 нм вікно	1580	1480	IEC 61300-3-7
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	$0{,}1\cdot(1 + \log_2 X)$	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Однонаправлена ізоляція (дальній кінець) (дБ)	na	sba	ffs
Двонаправлена ізоляція (ближній кінець) (дБ)	na	sba	ffs
Однонаправлене загасання перехідних завад (дальній кінець) (дБ)	na	sba	ffs
Двонаправлене загасання перехідних завад (ближній кінець) (дБ)	na	sba	ffs
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Пасивний компенсатор (хроматичної) дисперсії оптичний, одноканальний

Параметр (еквівалентна компенсація в км G.652)	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Дисперсія в робочому діапазоні довжин хвиль (пс/нм)			ffs
10	мінус 168	мінус 178	
20	мінус 337	мінус 356	
30	мінус 506	мінус 533	
40	мінус 675	мінус 711	
50	мінус 844	мінус 888	
60	мінус 1013	мінус 1066	
70	мінус 1182	мінус 1244	
80	мінус 1351	мінус 1421	
Втрати, що вносяться	ffs	ffs	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	мінус 27	na	IEC 61300-3-6
Частотний діапазон каналу (ТГц)	192,14	192,06	
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (Зауваження 7) (пс)	ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Регульований компенсатор дисперсії (хроматичної)

Параметр	Максимум	Мінімум	Метод тестування
Діапазон регулювання компенсації дисперсії (пс/нм)	Na	400	Ffs
Частотний (THz)	Діапазон каналу	sba	
Втрати, що вносяться	ffs	ffs	IEC 61300-3-4, IEC 61300-3-7
Відбиття (дБ)	мінус 27	na	IEC 61300-3-6
Втрати, що залежать від поляризації (PDL) (дБ)	Ffs	na	IEC 61300-3-2, IEC 61300-3-12
Коефіцієнт відбиття, що залежить від поляризації (дБ)	Ffs	na	IEC 61300-3-19
Допустимий рівень вхідної потужності (дБм)	ffs (Зауваження 2)	na	Ffs
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (Зауваження 7) (пс)	Ffs	na	G.650 (Зауваження 3)
Нерівномірність групової затримки	Sba	na	Ffs
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. na (Not Applicable) — не застосовується			

Зауваження 1 – Бере на себе роботу в одній з двох або частіше в обох смугах, однак якщо існує заборонений діапазон довжин хвиль в межах смуги, тоді значення параметрів беруться відповідно до вимог цього забороненого діапазону.

Зауваження 2 – Максимальне значення рівня допустимої вхідної потужності вивчається. Значення +20 дБм взято за вихідну точку. Коли на оптичні компоненти подається висока потужність, необхідно бути уважним щодо наявності забруднень поверхні торців з'єднувачів (пил та інші забруднюючі частинки).

Зауваження 3 – Методи вимірювань, що не увійшли у ITU G.650, можуть використовувати лише там, де можна показати, що використання довжин хвиль усередненої DGD може наприклад не дооцінювати загальну лінійну DGD

Зауваження 4 – Подвійне позначення (a | b) вказує значення для повільних та швидких переключень комутаторів відповідно.

Зауваження 5 – Для декотрих пасивних компенсаторів дисперсії робочий діапазон довжин хвиль може бути звужено, але не вужче покриття діапазону довжин хвиль оптичного джерела, котре використовується.

Зауваження 6 – Довжини можливої компенсації волокна G.652 отримано з використанням наведеної у I.2/G.652 формули, інші довжини та допуски хвиль вивчаються. Значення довжин можливої компенсації для волокон G.653 та G.655 вивчаються.

Зауваження 7 – Коли використовується розширений діапазон робочих температур, ці значення можуть бути перевищені, що вивчається.

Зауваження 8 – Для мереж, що відрізняються від наведеної у G.982, включно з іншими мережами доступу, значення мінус 27 дБ задається нижчим, однак необхідно бути обережним для гарантії системної функціональності в системі, виконаній на кількох оптичних компонентах зі значеннями показника відбиття у, або в окіл цієї межі. Аналізуючи майбутні напрямки розвитку мереж, значення мінус 40 дБ вивчається.

Зауваження 9 – Це значення застосовується за умови з'єднання типів волокон різних рекомендацій. Це значення для найгіршого випадку всіх параметрів середовищ та більшості існуючих розмірів. Типове значення втрат, що вносяться, для механічних з'єднувачів: 0,15 дБ, зварне з'єднання з активною юстировкою: 0,08 дБ та зварне з'єднання з пасивною юстировкою: 0,15 дБ.

Розділ 4 Стандарти, що описують технологію, параметри та експлуатаційний контроль WDM систем

Світовими організаціями, котрі розробляють стандарти для компонентів WDM систем, є:

- ISO (International Organization for Standardization) Міжнародна Організація зі Стандартизації.
- IEC (International Electrotechnical Commission) Міжнародна Електротехнічна Комісія.
- TIA (Telecommunication Industry Association) Асоціація виробників засобів зв'язку, працює під егідою EIA (Electronics Industries Alliance) Альянсу Електронної промисловості.
- ITU (International Telecommunications Union) Міжнародний союз телекомунікацій

На жаль, стандартизація (хоча стандарти досить швидко з'являються та змінюються) не завжди встигає за сучасними технологіями, тому декотрі параметри, вказані в цих рекомендаціях, знаходяться в стадії вивчення. Це вносить розбіжності між параметрами систем різних виробників і може позначитись на цілісності мережі та можливості її контролю

Короткий опис рекомендацій ITU, стандартів IEC та стандартів України, що описують WDM системи.

(В таблиці не розглянуті рекомендації ITU, котрі визначають терміни, параметри та тестові методи для кабелів підводних оптичних систем G.971: G.972 G.973: G.974; G.975; G.976; та підводних оптичних систем з підсилювачами G.977.)

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
ГСТУ 45.017-2001	25-01-2001	***Системи передавання волоконно-оптичні. Системи зі спектральним розділенням каналів та оптичними підсилювачами. Терміни та визначення.*** Галузевий стандарт України. Стандарт встановлює терміни основних понять та їхні визначення в галузі волоконно-оптичних систем передавання із спектральним розділенням каналів та оптичними підсилювачами.
ГСТУ 45.018-2001	01.07.2002 р.	***Світловоди волоконні одномодові. Технічні характеристики та параметри*** Дає визначення характеристик одномодових волоконних світловодів. Класифікує одномодові волоконні світловоди та їх характеристики, а також наводить параметри волокон у відповідності до рекомендацій ITU G.652; G.653; G.654; G.655 та IEC 63793-1-1 та стандарт IEC 63793-2.
ГСТУ 45.019-2001	19.12.2001 р.	***Кабелі зв'язку оптичні. Загальні технічні вимоги*** Надає класифікацію оптичних кабелів відповідно до IEC 60794-1-1 і рекомендації ITU.L40 та характеристики ОК
ГСТУ 45.020-2001	01.07.2002 р.	***З'єднувачі рознімні волоконно-оптичні. Технічні вимоги та методи випробувань*** Стандарт відповідає: IEC 61753-1-1 та рекомендації ITU.L36 в частині

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		поділу волоконно-оптичних рознімних з'єднувачів на класи за величиною зворотнього відбиття та на категорії в залежності від умов експлуатації; стандартам IEC 61753-1-1; IEC 61753-2-1; IEC 61300 в частині випробувань та методів їх оцінки
G.650.1	04-2004	***Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*** Рекомендація містить визначення та випробувальні методи для лінійних детермінованих параметрів одномодового оптичного волокна і кабелю. Деякі методи, описані у цій рекомендації, можуть застосовуватись до пасивних оптичних компонентів, описаних у рекомендації G.671.
G.650.2	01-2005	***Definitions and test methods for statistical and non-linear attributes of single-mode fibre and cable*** Рекомендація містить визначення та випробувальні методи для одномодових оптичних кабелів стосовно нелінійних атрибутів. Деякі методи, описані у цій рекомендації можуть застосовуватись до пасивних оптичних компонентів, описаних у рекомендації G.671.
G.651	02-1998	***Characteristics of a 50/125 µm multimode graded index optical fibre cable*** Рекомендація описує багатомодове градієнтне оптичне волокно з серцевиною діаметром 50 мкм та оболонкою діаметром 125 мкм. Рекомендація наводить основні параметри таких волокон і кабелів на їх основі. Такий тип волокон не використовується для побудови сучасних WDM систем.
G.652 Аналог (IEC 60793-2) (B1.1; B1.3)	Version 1 (10/1984) Version 2 (11/1988) Version 3 (03/1993) Version 4 (04/1997) Version 5 (10/2000) Version 6 03-2003	***Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*** Описує одномодове волокно з незсунутою дисперсією. Волокно категорії G.652 складає значну частину магістральних ВОЛЗ. При проектуванні WDM систем для цього типу волокон потрібно враховувати, що рекомендація суттєво доповнювалась в останні роки. Тому волокна котрі відповідають рекомендації G.652, і зроблені у 80-х роках минулого сторіччя суттєво відрізняються за параметрами від сучасних волокон G.652 різних підкатегорій. Волокна категорії G.652 використовуються для побудови WDM систем
G.653 Аналог (IEC 60793-2 (B2))	12-2003	***Characteristics of a dispersion- shifted single-mode optical fibre cable*** Рекомендація G.653 описує одномодове оптичне волокно зі зміщеною нульовою дисперсією в окіл 1550 нм. Таккі волокна оптимізовані для передачі

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		на довжині хвилі 1550 нм. З певними обмеженнями такі оптичні волокна можуть використовуватись для передачі на довжині хвилі 1310 нм та 1625 нм. Волокна категорії G.653 не використовують для DWDM систем, оскільки внаслідок специфіки структури такого волокна, потужність групового сигналу DWDM систем викликатиме значні нелінійні явища. Але для WDM систем з нерівномірною сіткою частот такі волокна можуть використовуватись.
G.654 Аналог (IEC 60793-2 (B1.2))	06-2004	***Characteristics of cut-off shifted single-mode optical fibre and cable*** Описує волокна, що мають мінімізовані втрати на довжині хвилі 1550 нм та зсунуту до величини 1530 нм довжину хвилі зрізу. У складі кабелю волокно має більшу від волокна категорії G.652 серцевину, що дозволяє передавати більшу потужність, та дещо більшу хроматичну дисперсію в околі довжині хвилі 1550 нм. Волокно використовується для прокладання на підводних ВОЛЗ. Волокно незастосовується для побудови WDM систем але можливе застосування в Раманівських підсилювачів з накачуваннм (особливо G.654.B)
G.655 Аналог (IEC 60793-2 (B4))	03-2003	***Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable*** Описує одномодові волокна зі зміщеною ненульовою дисперсією. Волокно призначене для побудови WDM систем.
G.656	06-2004	***Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport*** Описує одномодові волокна з додатною ненульовою хроматичною дисперсією в діапазоні 1460 ÷ 1625 нм, що знижує рівень нелінійних явищ у волокні. Волокно призначене для побудови WDM систем.
G.661	10-1998	***Definition and test methods for the relevant generic parameters of optical amplifier devices and subsystems*** Дає визначення термінів: • *Оптичні підсилювачі (Optical Amplifiers (OAs))* • *Волоконно-оптичні підсилювачі (Optical Fibre Amplifiers (OFAs))* • *Напівпровідникові підсилювачі оптичного діапазону (Semiconductor Optical Amplifiers (SOAs))* Визначає список основних параметрів, що тестуються та наводить таблицю посилань на рекомендації IEC (для кожного параметра) в котрих розглянуто тестові методи для виміру цих параметрів.

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		Наводить опис основних відмінностей між OFAs та SOAs.
G.662	10-1998	***Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems*** Визначає список доцільних для тестування параметрів для оптичних підсилювачів OAs, разом з попередніми підсилювачами. Дає класифікацію OAs: • *Підсилювач потужності (Booster power Amplifier (BA))* • *Попередній підсилювач(Pre-Amplifier (PA))* • *Лінійний підсилювач (Line Amplifier (LA))* и вузлів OAs: • *Передавач з оптичним підсилювачем (Optically Amplified Transmitter (OAT))* • *Приймач з оптичним підсилювачем (Optically Amplified Receiver (OAR))*
G.663	04-2000 01-2003 (додаток)	***Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems*** Визначає, які аспекти повинні бути розглянуті для кожного типу підсилювального пристрою, значення параметрів (разом з числовими значеннями) та їх номенклатуру (допустимі діапазони) для OA. Наводить деякі види дій з адміністрування (технічної експлуатації) та обслуговування OAs Визначає аспекти, що мають відношення до передавання сигналів при використанні OAs. В Рекомендація приводяться визначення: • *Поляризаційна дисперсія моди. (Polarisation Mode Dispersion (PMD)).* • *Чотирихвильове змішування. (Four-Wave Mixing (FWM)).* • *Спонтанна емісія підсилення. Шум в оптичних підсилювачах. (Amplified Spontaneous Emission (ASE) Noise in OA).* • *Хроматична дисперсія. (Chromatic Dispersion)* • *Відбиття. (Reflections).* • *Перехресна фазова модуляція. (Cross Phase Modulation (XPM)).* • *Спонтанна фазова самомодуляція. (Self Phase Modulation (SPM)).* • *Примусове Раманівське розсіювання. (Stimulated Raman Scattering (SRS)).*
G.664	03-2003 01-2005 (виправлення)	***Optical safety procedures and requirements for optical transport systems*** Рекомендація дає керівні принципи та вимоги для визначення та методів, безпечного робочого режиму для людини при роботі з оптичною транспортною мережею (також і з SDH). Рекомендація не дає фактичних визначень та

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		технічних вимог для визначення рівнів оптичної безпеки.
G.665	03-2005	***Generic Characteristics of Raman Amplifiers and Raman Amplified Subsystems*** Рекомендація описує Раманівські оптичні підсилювачі, їхні параметри і методи вимірювання цих параметрів, з посиланням на рекомендації ITU і стандарти IEC.
G.666	Draft 12-09-2005	***Characteristics of PMD compensators and PMD Compensating Receivers*** Рекомендація містить параметри та визначення для пристроїв компенсації поляризаційної дисперсії моди.
G.671	01-2005	***Transmission characteristics of optical components and subsystems*** Рекомендація описує оптичні компоненти, що використовуються як в оптичних мережах передавання на довгі дистанції, так і в оптичних мережах доступу. В рекомендації наведено повний список характеристик передавання оптичних компонентів, а також їхні параметри (разом з числовими значеннями та допустимим діапазоном відхилення від них), але не визначає умов експлуатації. Наводиться опис тестових методів з посиланням на стандарти IEC та рекомендації ITU.
G.691	12-2003 01-2005 (виправлення)	***Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers*** Рекомендація дає визначення термінів: • *Основний оптичний тракт (Main (optical) path)* • *Основні інтерфейси тракту (Main path interfaces)* • *Допоміжний оптичний тракт (Auxiliary (optical) path)* • *Оптичний прийомопередавач ((Optical) transponder)* В рекомендації описано характеристики передавача і приймача та наведені специфікації інтерфейсів: STM 4 (V-4.1; V-4.2; V-4.3; U-4.2; U-4.3) STM 16 (V-16.2; V-16.3; U-16.2; U-16.3) STM 64 (I-64.1r; I-64.1; I-64.2r; I-64.2; I-64.3; I-64.5; S-64.1; S-64.2a; S-64.2b; S-64.3a; S-64.3b; S-64.5a; S-64.5b; L-64.1; L-64.2a; L-64.2b; L-64.2r; L-64.3; V-64.2a; V-64.2b; V-64.3; DST L-64.2/1; DST L-64.2/2; DST V-64.2; DST L-64.2/1; DST L-64.2/2; DST V-64.2) Типи і специфікації інтерфейсів для STM 256 в данний час знаходяться під вивченням.
G.692	10-1998 01-2000 (виправлення)	***Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers*** Рекомендація описує оптичні інтерфейси для

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
	06-2002 (виправлення)	багатоканальних оптичних систем з підсилювачами, призначених для роботи на довгі наземні відстані,. Рекомендація дає визначення термінів: • *Оптичний контрольний канал. Optical Supervisory Channel (OSC)* • *Головний оптичний тракт. Main (optical) path* Рекомендація визначає контрольні точки, параметри інтерфейсів та специфікує головні інтерфейси тракту. Повне визначення деяких параметрів дається з посиланням на рекомендацію G.957. В рекомендації вказано основні параметри лінійних оптичних підсилювачів, повні визначення та специфікація котрих дана в стандарті IEC 61291-4 та рекомендації G.661. Специфікована також довжина хвилі для оптичного контрольного каналу (OSC). Визначається відхилення частоти (або довжини хвилі) від номінального значення.
G.693	01-2005	***Optical interfaces for intra-office systems*** Рекомендація описує оптичні інтерфейси для внутришньофісних систем. В рекомендації даються визначення основних параметрів передавання и прийому. Наводиться специфікація інтерфейсів: VSR600-2R1; VSR600-2M1; VSR600-2M2; VSR600-2M3; VSR600-2M5; VSR2000-2R1; VSR2000-2L2; VSR2000-2L3; VSR2000-2L5; VSR2000-3R1; VSR2000-3R2; VSR2000-3R3; VSR2000-3R5; VSR2000-3M1; VSR2000-3M2; VSR2000-3M3; VSR2000-3M5; VSR2000-3H2; VSR2000-3H3; VSR2000-3H5
G.694.1	06-2002	***Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid*** Рекомендація дає визначення терміну: • *Частотна сітка (Frequency Grid)* Рекомендація визначає числові значення частотної сітки для DWDM систем. Рекомендація замінила собою розділ А рекомендації G.692, котрий раніше визначав сітку частот.
G.694.2	12-2003	***Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid*** Рекомендація дає визначення терміну: • *Сітка довжин хвиль (Wavelength Grid)* Рекомендація Визначає числові значення сітки довжин хвиль для CWDM систем.
G.695	01-2005	***Optical interfaces for Coarse Wavelength Division Multiplexing applications*** Рекомендація дає опис контрольних точок,

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		визначає параметри для інтерфейсів CWDM систем та специфікує інтерфейси: B-C4L1-0D2; B-C4L1-0D3; B-C4L1-1D2; B-C4L1-1D3; C8S1-1D2; B-C8S1-1D2; C8L1-1D2; B-C8L1-0D2; B-C8L1-0D3; B-C8L1-1D2; B-C8L1-1D3; B-C12L1-0D2; B-C12L1-1D2; C16S1-1D2; C16L1-1D2; B-C16S1-1D2; B-C16L1-1D2; S-C8S1-1D2; S-C8S1-1D3; S-C8S1-1D5; S-C8L1-1D2; S-C8L1-1D3; S-C8L1-1D5; C16S1-1D2 Рекомендація дає визначення двох підходів (багатоканального та одноканального інтерфейсу) до визначення параметрів: • *Чорний ящик ("black-box")* • *Чорна лінія ("black-link")* В рекомендації наводиться залежність хроматичної дисперсії від довжини хвилі.
G.696.1	2005 (Draft)	***Longitudinally Compatible Intra-Domain DWDM Applications*** Рекомендація визначає вимоги та параметри IaDI ((Intra-Domain Interface) Внутрішньо-обласний інтерфейс (інтерфейс в межах області (частини) мережі) інтерфейсів DWDM для топології мережі точка-точка. Рекомендація дає опис контрольних точок, визначає параметри систем та специфікує інтерфейси DWDM, сумісні за довжиною дистанції, як визначено в тексті рекомендації.
G.697	06-2004	***Optical monitoring for DWDM systems*** Рекомендація визначає Оптичний Моніторинг (OM), котрий може допомогти, у системах високощільного мультиплексування з розділенням за довжинами хвиль, виконувати наступні дії: – керування конфігурацією для системи та запуску каналу, введення нових каналів, и т. ін. – керування збоями, щоб знайти та ізолювати помилки – контроль за деградацією, щоб утримувати контролювання системи та знаходити деградації до виникнення помилки. Рекомендація визначає терміни: • *Оптичні мережі з повною регенерацією. (Fully regenerated optical networks)* • *Прозорий елемент оптичної мережі. (Transparent optical network element)* • *Нахил хроматичної дисперсії. (Chromatic Dispersion Slope)* В рекомендації наводиться опис методів моніторингу DWDM систем. В рекомендації наведено перелік явищ, що призводять до погіршення роботи оптичних

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		систем, наведено перелік параметрів, необхідних для моніторингу DWDM систем, наведено методи та числову інформацію з вказаних в рекомендації параметрів моніторингу.
G.698.1	2005 (Draft)	***Multichannel DWDM applications with single channel optical interfaces*** Рекомендація призначена для DWDM з разнесенням 100ГГц та швидкісттю передавання до 10 Гбіт/с. Рекомендація визначає вимоги та параметри одноканальних (окремиих каналів) оптичних інтерфейсів DWDM для топології мережі точка-точка. з дистанцією передавання від 30 до 80 км, на одномодових оптичних волокнах. Параметри визначені для підходу "*Чорний ящик" ("black-box")* без лінійних оптичних підсилювачів. Рекомендація дає опис контрольних точок, визначає параметри систем та специфікує інтерфейси DWDM: DN100S1-1D2(C), DN100S1-1D3(L), DN100S1-1D5(C) DW100S1-1D2(C), DW100S1-1D3(L), DW100S1-1D5(C), DN100S1-1D2(C)F, DN100S1-1D3(L)F, DN100S1-1D5(C)F, DW100S1-1D2(C)F, DW100S1-1D3(L)F, DW100S1-1D5(C)F, DN100L1-1D2(C), DN100L1-1D3(L), DN100L1-1D5(C), DW100L1-1D2(C), DW100L1-1D3(L), DW100L1-1D5(C), DN100L1-1D2(C)F, DN100L1-1D3(L)F, DN100L1-1D5(C)F, DW100L1-1D2(C)F, DW100L1-1D3(L)F, DW100L1-1D5(C)F, DN100S1-2D2(C), DN100S1-2D3(L), DN100S1-2D5(C), DW100S1-2D2(C), DW100S1-2D3(L), DW100S1-2D5(C), DN100S1-2D2(C)F, DN100S1-2D3(L)F, DN100S1-2D5(C)F, DW100S1-2D2(C)F, DW100S1-2D3(L)F, DW100S1-2D5(C)F DN100L1-2D2(C), DN100L1-2D3(L), DN100L1-2D5(C) DW100L1-2D2(C), DW100L1-2D3(L), DW100L1-2D5(C) DN100L1-2D2(C)F, DN100L1-2D3(L)F, DN100L1-2D5(C)F, DW100L1-2D2(C)F, DW100L1-2D3(L)F, DW100L1-2D5(C)F
G.709/Y.1331	03-2003 12-2003 (виправлення)	***Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)*** Рекомендація визначає вимоги для оптичного транспортного модуля рівня n (OTM-n). Рекомендація визначає терміни для опису оптичної транспортної ієрархії (OTH). В рекомендації визначені структури циклів швидкості передавання даних для OTM. В рекомендації описано функцію випереджуючої корекції помилок (forward error correction (FEC))
G.807/Y.1302	07-2001	***Requirements for automatic switched transport networks (ASTN)*** Рекомендація визначає вимоги для транспортної

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		мережі з автоматичною комутацією, що забезпечує функції контролю та комутації мережі.
G.872	11-2001	***Architecture of optical transport networks*** Рекомендація описує функціональну архітектуру і принципи побудови оптичних транспортних мереж, з використанням методології, описаної в рекомендації G.805. Рекомендація описує призначення оптичного контрольного каналу (OSC), дає визначення методів захисту оптичних транспортних мереж, класифікацію типів регенерації (1R; 2R; 3R).
G.957	07-1999 12-2003 (виправлення) 01-2005 (виправлення)	***Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy*** Рекомендація дає визначення параметрів передавання та прийому для інтерфейсів SDH систем і специфікує інтерфейси: I-1; S-1.1; S-1.2; L-1.1; L-1.2; L-1.3; I-4; S-4.1; S-4.2; L-4.1; L-4.2; L-4.3; I-16; S-16.1; S-16.2; L-16.1; L-16.2; L-16.3 Рекомендація пропонує метод вимірювання “око-діаграм”.
G.959.1	12-2003 04-2004 (уточнення)	***Optical transport network physical layer interfaces*** Рекомендація дає опис контрольних точок, визначає параметри інтерфейсів в контрольних точках, специфікує параметри багатоканальних інтерфейсів: P16S1-1D2; P16S1-1D5; P16II-2D2; P16II-2D3; P16II-2D5; P16S1-2B2; P16S1-2B5; P16S1-2C2; P16S1-2C3; P16S1-2C5; P1I1-1D1; P1S1-1D1; P1S1-1D2; P1L1-1D1; P1I1-2D1r; P1I1-2D1; P1I1-2D2r; P1I1-2D2; P1I1-2D3; P1I1-2D5; P1S1-2D2a; P1S1-2D2b; P1S1-2D3a; P1S1-2D5a; P1S1-2D3b; P1S1-2D5b; P1L1-2D1; P1S1-2D2a; P1S1-2D2b; P1S1-2D3a; P1S1-2D5a; P1S1-2D3b; P1S1-2D5b; P1L1-2D1; P1L1-2D2; P1S1-2C2; P1S1-3C3; P1S1-3C5; P1L1-3A2; P1L1-3A3; P1L1-3A5; P1L1-3C2FD; 1L1-3C2FD; 1L1-3C5FD; 1L1-3C2F; 1L1-3C3F; 1L1-3C5F; P1L1-7A2; P1L1-7A3; P1L1-7A5; P1S1-3A2; P1S1-3A3; P1S1-3A5; P1S1-3C2; P1S1-3C3; P1S1-3C5; P1S1-3C2; P1S1-3C3; P1S1-3C5; P1L1-3A2; P1L1-3A3; P1L1-3A5.
G.8080/Y.1304	11-2001 03-2003 (виправлення)	***Architecture for the automatically switched optical network (ASON)*** Рекомендація описує архітектуру для оптичної мережі з автоматичною комутацією.
G.8110/Y.1370	01-2005	***MPLS Layer Network Architecture*** Рекомендація описує архітектуру мереж MPLS. (Принципи MPLS використовуються в оптичній комутації.)
G.8201	09-2003	***Error performance parameters and objectives for***

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		multi-operator international paths within the Optical Transport Network (OTN) Рекомендація визначає параметри помилок для мереж OTN описаної в рекомендації G.709.
G.8251	11-2001 06-2002 (додаток) 06-2002 (виправлення)	***The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN)*** Рекомендація встановлює норми на границі тремтіння та блукання фази, що є гарантією взаємодії обладнання виробленого різними виробниками. Визначено норми для допустимого вхідного, власного, мережного тремтіння та блукання фази і перехідної характеристики тремтіння а блукання фази. Наводиться дослідження накопичення тремтіння регенератора. Наводиться аналіз ефекту введення OTN на синхронізації мережі SDH.
G.Sup39	10-2003	***Optical system design and engineering considerations*** Є додатком до низки рекомендацій. Наводить додаткову інформацію відносно методології та інтерфейсів, описаних у рекомендаціях G.957, G.691, и G.959.1. Додаток дає посилання на рекомендації ITU, в котрих визначаються параметри елементів систем передавання: • *Лінійний код (G.957, G.691, G.692; G.959.1)* • *Передавачі (G.957, G.691, G.692; G.959.1; G.694.1; G.694.1; G.693)* • *Оптичні підсилювачі (G.661, G.662; G.663; G.692; IEC 61291-4)* • *Оптичний тракт (G.650, G.652, G.653, G.654; G.655; G.663; G.957, G.691, G.692; G.959.1)* • *Приймачі (G.957, G.691, G.692; G.959.1)* Додаток визначає терміни: • *Оптичне відношення сигнал/шум. (Optical Signal Noise Ratio (OSNR)).* • *Перехідні завади між каналами. (Inter-channel crosstalk)* • *Інтерференційні завади між каналами. (Interferometric crosstalk)*
K.25	02-2000	***Protection of optical fibre cables*** Рекомендація щодо таких типів оптичних кабелів (з наявністю в них металевих елементів): • Повністю діелектричний кабель (без металу) • Кабель з діелектричною серцевиною, але з металевими оболонками. • Кабель з металевими елементами у серцевині та металевими оболонками. • Кабель з металевими елементами в серцевині але без металевих оболонок.

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		В рекомендації визначені методики для визначення потреби в захисті кабелю від блискавок, а також методи такого захисту.
L.10	12-2002	***Optical fibre cables for duct and tunnel application*** Рекомендація дає характеристики оптичних волокон та кабелів для прокладання в трубці та тунелях: – Вигин, макровигин та мікровигин – Запас міцності – Вплив стискання – Скручування – Проникнення вологи – Блискавка – Біотонічний вплив – Вібрація – Температурні коливання Описує елементи конструкції кабелів: – Покриття – Ідентифікацію волокна – Елементи конструкції кабелю – Ідентифікацію кабелю Випробувальні методи з посиланнями на стандарти IEC та рекомендації ITU для механічних, екологічних характеристик та характеристик елементів кабелю.
L.26	12-2002	***Optical fibre cables for aerial application*** Рекомендація аналогічна рекомендації L.10, але описує параметри та методи для оптичних кабелів, призначених для повітряних ліній зв'язку.
L.40	10-2000	***Optical fibre outside plant maintenance support, monitoring and testing system*** Рекомендація описує методи організації моніторингу та дистанційного контролю за станом обладнання і волокна, за допомогою активних та темних волокон. (Системи дистанційного контролю по темних та активних волокнах (Remote Fibre Test System (RFTS)) Дає рекомендації з вибору довжини хвилі, на котрій пропонується проводити подібний контроль для різних видів випробувань (1310 нм; 1550 нм; 1650 нм).
L.41	05-2000	***Maintenance wavelength on fibres carrying signals*** Рекомендація визначає довжини хвиль для дистанційного контролю параметрів та ідентифікації волокон. В ррекомендації описані довжини хвиль: 1310.нм; 1550 нм; 1625 нм; 1650 нм, та визначають випадки, коли вони застосовуються.

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
L.43	12-2002	***Optical fibre cables for buried application*** Рекомендація описує параметри кабелів, призначених для прокладання в грунт.
O.173	03-2003	***Jitter measuring equipment for digital systems which are based on the Optical Transport Network (OTN)*** Рекомендація визначає контрольно-вимірювальне обладнання, котре використовується для виконання та виміру тремтіння фази у цифрових системах, що базуються на OTN. Наведена функціональна блок-діаграма для вимірювання тремтіння фази.
O.201	07-2003	***Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels*** В рекомендації дається визначення добротності (Q-factor). Рекомендація описує вимоги до обладнання по вимірюванню добротності (Q-factor). Описує метод вимірювання та визначення добротності.
IEC 60793-1-1 (ДСТУ IEC 60793-1-1)	02-1999 (2002)	***Optical fibers. Part 1-1 Generic specification - General*** Визначає категорії оптичних волокон.
IEC 60793-1-2 (ДСТУ IEC 60793-1-2)	1995 (2002)	***Optical fibers - Part 1- 2: Measuring methods for dimensions*** Стандарт наводить методи вимірювання, які може бути застосовано для практичного вимірювання довжини оптичного волокна та розмірів його поперечного перерізу.
IEC 60793-1-4	01-1998	***Optical fibers. Part 1-4 Generic specification – Measuring methods for transmission and optical characteristics*** Визначає методи вимірювання характеристик передавання та оптичних характеристик оптичних волокон.
IEC 60793-1-5 (ДСТУ IEC 60793-1-5)	1995 (2002)	***Opmical fibers Part 1-5: Generic specification - Measuring methods for environmental characteristics*** Стандарт описує методи вимірювання, які застосовують для випробувань впливу чинників довкілля на оптичні волокна.
IEC 60793-1-40	07-2001	***Optical fibers. Part 1-40 Generic specification – Measurement methods and test procedures - Attenuation*** Визначає методи вимірювання загасання в оптичних волокнах.
IEC 60793-1-41	07-2001	***Optical fibers. Part 1-41 Generic specification – Measurement methods and test procedures - Bandwidth*** Визначає методи вимірювання робочої ширини смуги частот оптичного волокна
IEC 60793-1-43	07-2001	***Optical fibers. Part 1-43 Generic specification – Measurement methods and test procedures –***

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		Numerical aperture Визначає методи вимірювання числової апертури оптичного волокна.
IEC 60793-1-46	07-2001	***Optical fibers. Part 1-46 Generic specification – Measurement methods and test procedures – Monitoring of changes in optical transmittance*** Визначає методи моніторингу стану пропускної здатності оптичного каналу.
IEC 60793-2	12-1998	***Optical fibers. Part 2 Product specification*** Специфікує параметри категорій оптичних волокон, наведених у стандарті IEC 60793-1-1.
IEC 60794-1-1 ДСТУ (IEC 60794-1-1)	2000 (2002)	***Optical fibre cables – Part 1-1: Generic specification – General*** Визначає категорії оптичних кабелів, сферу їх застосування, конструкцію та визначає методи вимірювання параметрів кабелю: – Геометричних розмірів – Механічних характеристик – Електричних характеристик – Оптичних та передавальних характеристик – Характеристик, що залежать від умов довкілля – Характеристик елементів кабелю Стандарт містить настанови щодо придбання та прокладання кабелю, настанову з оптичних кабелів для коротких ліній зв'язку, та настанову щодо впливу водню.
IEC 60794-1-2 ДСТУ (IEC 60794-1-2)	1999 (2002)	***Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures.*** Визначає методи вимірювання оптичних кабелів.
IEC 60794-3 ДСТУ (IEC 60794-3)	1998 (2002)	***Optical fibre cables - Part 3: Duct, buried and aerial cables - Sectional specification*** Стандарт встановлює вимоги до одномодових оптичних кабелів та кабельних елементів, призначених для використання переважно в телекомунікаційних мережах загального користування. Цей стандарт встановлює вимоги на кабелі, що використовуються для прокладання в канали кабельної каналізації або безпосередньо в грунт та на підвісні кабелі. Для підвісних кабелів цей стандарт не визначає всіх функціональних аспектів кабелів, які застосовуються на повітряних лініях електропередач. У випадку такого застосування можуть бути необхідні додаткові вимоги та методи випробувань. Крім того, цей стандарт не поширюється на оптичний кабель, що вбудований у грозозахисний трос та кабелі, які вбудовані у фазовий провід або провід заземлення повітряних ліній електропередавання.

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
IEC 60825-1 (ДСТУ IEC 60825-1)	2001 (2004)	***Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.*** Дає класифікацію типів лазерів та методів їхнього визначення.
IEC 60825-2	2000 Corr.I1 2001	***Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems.*** Пояснює відмінність між класом лазера та рівнем оптичної безпеки для людини.
IEC 61280-1-1	05-1998	***Fibre optic communication subsystem basic test procedures/ Part 1-3 Test procedures for general communication subsystems – Transmitter output optical power measurement for singl-mode optical fibere cable*** Визначає процедуру вимірювання вихідної оптичної потужності передавача.
IEC 61280-1-3	12-1998	***Faibre optic communication subsystem basic test procedures/ Part 1-3 Test procedures for general communication subsystems – Central wavelength and spectral width measurement*** Визначає процедуру вимірювання центральної довжини хвилі та ширини спектра.
IEC 61280-2-1	12-1998	***Faibre optic communication subsystem basic test procedures/ Part 2-1 Test procedures for digital systems – Receiver sensitivity and overload measurement*** Визначає процедуру вимірювання чутливості та рівня перенавантаження приймачів.
IEC 61280-2-2	11-1998	***Faibre optic communication subsystem basic test procedures/ Part 2-2 Test procedures for digital systems – Optical eye pattern, waveform, and extinction ratio.*** Визначає процедуру вимірювання око-діаграми (форми імпульсу) та коефіцієнта гасіння лазера.
IEC 61280-2-4	05-1998	***Faibre optic communication subsystem basic test procedures/ Part 2-4 Test procedures for digital systems - Bit-rate tolerance measurement*** Визначає процедуру вимірювання допустимих відхилень швидкості передавання.
IEC 61280-2-5	05-1998	***Faibre optic communication subsystem basic test procedures/ Part 2-5 Test procedures for digital systems - Jitter transfer function measurement*** Визначає процедуру вимірювання функції передавання тремтіння фази.
IEC 61280-2-9	2002-10-29	***Fibre optic communication subsystem test procedures - Part 2-9: Digital systems - Optical signal-to-noise ratio measurement for dense wavelength-division multiplexed systems***

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		Дає визначення та визначає випробувальні методи дя вимірювання OSNR за допомогою OSA
IEC 61282-3	08-2002	***Faibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion*** Визначає методи розрахуноку поляризаційної дисперсії моди.
IEC 61282-4	06-2003	***Faibre optic communication system design guides – Part 4: Accommodation and utilization of non-lineart effects*** Визначає нелінійні явища в оптичних системах зв'язку та методи боротьби з ними.
IEC 61282-7	01-2003	***Faibre optic communication system design guides – Part 7: Statistical calculation of chromatic dispersion*** Визначає метод статистичного розрахунку хроматичної дисперсії.
IEC 61290-1	07-1998	***Optical fiber amplifiers – Part 1: Generic specification*** Визначає параметри, пов'язані з коефіцієнтом підсилення: • *Коефіцієнт підсилення для слабкого сигналу в прямому та зворотному напрямку;* • *Максимальне значення коефіцієнта підсилення для слабкого сигналу (абсолютне значення, спектральний профіль і неоднорідність в залежності від температури);* • *Коливання коефіцієнта підсилення в робочому діапазоні для слабкого сигналу* • *Стабільність коефіцієнта підсилення для слабкого сигналу;* • *Коливання коефіцієнта підсилення, що залежить від поляризації.*
IEC 61290-1-1	05-1998	***Optical fiber amplifiers – Basic specification – Part 1-1: Test method for gain parameters – Optical spectrum analyzer*** Визначає методи для вимірювання параметрів підсилення оптичних підсилювачів за допомогою оптичного аналізатора спектра.
IEC 61290-1-3	05-1998	***Optical fiber amplifiers – Basic specification – Part 1-3: Test method for gain parameters – Optical power meter*** Визначає методи для вимірювання параметрів підсилення оптичних підсилювачів з допомогою вимірювачів оптичної потужності
IEC 61290-2	05-1998	***Optical fibre amplifiers - Part 2 Basic specification*** Визначає параметри, пов'язані з оптичною потужністю: • *Номінальна потужність сигналу на виході;*

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		• *Стабільність сигналу високої потужності на виході;* • *Потужність сигналу на виході в режимі насичення;* • *Максимальна потужність вхідного та вихідного сигналів;* • *Діапазон потужності вхідного та вихідного сигналів;* • *Сукупна максимальна потужність на виході.*
IEC 61290-2-1	05-1998	***Optical fiber amplifiers – Basic specification – Part 2-1: Test method for optical power parameters – Optical spectrum analyzer*** Визначає методи для вимірювання параметрів оптичної потужності оптичних підсилювачів з допомогою оптичного аналізатора спектра.
IEC 61290-2-2	06-1998	***Optical fiber amplifiers – Basic specification – Part 2-2: Test method for optical power parameters – Electrical spectrum analyzer*** Визначає методи для вимірювання параметрів оптичної потужності оптичних підсилювачів з допомогою електричного аналізатора спектра.
IEC 61290-2-3	06-1998	***Optical fiber amplifiers – Basic specification – Part 2-3: Test method for optical power parameters – Optical power meter*** Визначає методи для вимірювання параметрів оптичної потужності оптичних підсилювачів з допомогою вимірювачів оптичної потужності.
IEC 61290-3-1	2003-08-26	***Optical amplifiers - Test methods - Part 3-1: Noise figure parameters - Optical spectrum analyzer method*** Визначає метод вимірювання сукупного коефіцієнта шуму (в дБ) або його лінійне значення (на одиницю довжини) для підсилювачів EDFA; (з допомогою OSA і методу інтерполяцій)
IEC 61290-3-2	2003-01-13	***Optical amplifiers - Part 3-2: Test methods for noise figure parameters - Electrical spectrum analyzer method*** Визначає метод вимірювання сукупного коефіцієнта шуму (в дБ) або його лінійне значення (на одиницю довжини) для підсилювачів EDFA; (за допомогою ESA и методу різниць відносної інтенсивності шуму RIN (Relative Intensity Noise))
IEC 61290-5-1	2000-03-30	***Optical fibre amplifiers - Basic specification - Part 5-1: Test methods for reflectance parameters - Optical spectrum analyser*** Визначає метод вимірювання зворотних втрат, котрі можуть порушувати роботу сусідніх підсилювачів EDFA (з використанням OSA).
IEC 61290-5-2	2003-10-03	***Optical amplifiers - Test methods - Part 5-2: Reflectance parameters - Electrical spectrum***

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		analyser method Визначає метод вимірювання зворотних втрат, котрі можуть порушувати роботу сусідніх підсилювачів EDFA (з використанням ESA).
IEC 61290-5-3	2002-03-05	***Basic specification for optical amplifier test methods - Part 5-3: Test methods for reflectance parameters - Reflectance tolerance test method using electrical spectrum analyzer*** Визначає метод вимірювання зворотних втрат, котрі можуть порушувати роботу сусідніх підсилювачів EDFA (з допомогою методу допустимих відхилень і використанням генератора відбиття).
IEC 61290-6-1	1998-06-11	***Optical fiber amplifiers – Basic specification – Part 6-1: Test method for pump leakage parameters – Optical demultiplexer*** Визначає метод вимірювання витікання енергії накачування на вході і виході, котре може призвести до появи сигналів інтерференції (методом тестування оптичного демультиплексування).
IEC 61290-7-1	1998-04-23	***Optical fiber amplifiers – Basic specification – Part 7-1: Test method for out-of-band insertion losses – Filter optical power meter*** Визначає метод вимірювання втрат, що вносяться поза діапазоном роботи підсилювача в прямому и зворотному напрямку, котрі обмежують можливу сукупну потужність (метод тестування вимірювачем потужності за допомогою смугового фільтра).
IEC 61290-10-1	2003-05-16	***Optical amplifiers - Test methods - Part 10-1: Multichannel parameters - Pulse method using an optical switch and optical spectrum analyzer*** Визначає метод вимірювання спонтанних шумів оптичних підсилювачів OFA з допомогою OSA.
IEC 61290-10-2	2003-01-21	***Optical amplifiers - Test methods - Part 10-2: Multichannel parameters - Pulse method using a gated optical spectrum analyzer*** Визначає метод вимірювання сукупного коефіцієнта шуму (в дБ) або його лінійне значення (на одиницю довжини) для підсилювачів EDFA (імпульсним методом за допомогою окремого OSA).
IEC 61291-1	1998-07-24	***Optical fibre amplifiers – Part 1: Generic specification.*** Визначає загальні технічні вимоги до оптичних підсилювачів.
IEC 61291-4	05 2003	***Optical amplifiers. Pert 4: Multichennel applications. Performance specification template*** Специфікує багатоканальні оптичні підсилювачі. Розглядається автоматичний контроль підсилення і відповідний робочий діапазон потужності вхідного

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
		сигналу, стабілізація підсилення, критерії фіксації і спектрального провалу за довжиною хвилі. Наведено загальні технічні вимоги та приклади специфікацій для цифрових, аналогових, багатоканальних оптичних підсилювачів в залежності від конкретного застосування (підсилювач потужності, попередній підсилювач, лінійний підсилювач и т.д.).
IEC 61300-3-2	1999-06-17	***Fibre optic interconnecting devices and passive components - Basic test and measurement procedures - Part 3-2: Examinations and measurements - Polarization dependence of attenuation in a single-mode fibre optic device*** Визначає поляризаційно залежні втрати в одномодових волоконно-оптичних пристроях. Визначені методи можуть бути застосовані до пасивних оптичних пристроїв, рознімів, розгалужувачів, ізоляторів та інших пасивних компонентів.
IEC 61300-3-4	2001-01-30	***Fiber optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3–4 Examinations and measurements – Attenuation*** Визначає методи для виміру втрат в пасивних оптичних компонентах і пристроях з'єднання. **(За виключенням компонентів для DWDM)**
IEC 61300-3-6	03-1997	***Fiber optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-6 Examinations and measurements – Return loss*** Визначає методи для вимірювання зворотніх втрат в пасивних оптичних компонентах і пристроях з'єднання.
IEC 61300-3-7	2004-02-10	***Fiber optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-7 Examinations and measurements – Wavelength dependence of attenuation and return loss*** Визначає методи вимірювання спектральної залежності загасання та зворотних втрат в пасивних оптичних компонентах і пристроях з'єднання.
IEC 61300-3-12	1997-02-28	***Fiber optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-12 Examinations and measurements – Polarization dependence of attenuation of a single-mode fiber optic component: Matrix calculation method.*** Визначає метод матричного розрахунку для вимірювання поляризаційно-залежних втрат в одномодових волоконно-оптичних компонентах.

Рекомендація	Дата випуску	Назва, та параметри, що розглядаються
IEC 61300-3-19	1997-03-12	***Fiber optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-19 Examinations and measurements – Polarization dependence of return loss of a single-mode fibere optic component*** Визначає методи для вимірювання поляризаційно-залежних зворотних втрат в одномодових волоконно-оптичних компонентах.
IEC 61931	1998-08-19	***Fibre optic – Terminology*** Визначає і описує термінологію, що використовується у специфікаціях на оптичні волокна

Розділ 5 Вимірювання та моніторинг WDM систем.

§5.1 Вимірювання та моніторинг

Вимірювання при експлуатації WDM систем поділяють на:

1. Вимірювання під час будівництва
   - Вхідний контроль
   - Оцінка якості монтажно-будівельних робіт та приведення параметрів до встановлених норм
   - Приймально-здавальні випробування
2. Вимірювання під час експлуатації
   - Профілактичні вимірювання
   - Вимірювання під час та після аварійно-відновлювальних робіт
   - Безперервний моніторинг параметрів системи

Після введення в дію WDM системи найбільшого значення набуває безперервний моніторинг параметрів системи.

Моніторинг систем WDM – це безперервний контроль стану активних каналів за допомогою відповідного набору тестів. Моніторинг призначено для вияву різних відхилень в оптичних характеристиках мережі, що можуть вплинути на її роботоспроможність. Моніторинг призначено не лише для відслідковування поточного стану системи, але і для аналізу цього стану для запобігання виходу системи з ладу чи погіршення її показників якості.

Можна виділити типи моніторингу:

- Моніторинг активних волокон:

Дозволяє контролювати поточний стан системи і її характеристик. Контроль стану об’єктів, цілісності волокна і кабелю та методи такого контролю описані в рекомендації L.40.

- Моніторинг з використанням каналу контрольного оптичного каналу (OSC).

Оптичний службовий канал – це канал для контролю показників якості лінійного тракту та для передавання сигналів технічного обслуговування ВОСП.

Канал OSC дозволяє використовувати всі необхідні тести безперервно та без відключення каналів. Оскільки довжина хвилі каналу OSC знаходиться поза смугою підсилювача EDFA, то вихід підсилювача з ладу не впливає на цілісність каналу OSC.

- Моніторинг з використанням одного з робочих каналів.

Тотожній контролю з використанням каналу OSC, однак вихід з ладу підсилювача EDFA призводить до порушення цілісності каналу.

- Моніторинг з використанням систем дистанційного тестування.

Система моніторингу за допомогою дистанційного тестування постійно і автоматично веде контроль характеристик параметрів в мережі зв’язку, оперативно знаходить несправності і визначає їх.

§5.2 Короткий огляд оптичного моніторингу

Керування існуючими SDH мережами базується на контролі цифрових параметрів типу коефіцієнта помилок за бітами (BER), коефіцієнта секунд з помилками (ESR), коефіцієнта секунд зі значними помилками (SESR), котрі виміряні на електричному рівні (в 3R регенерації) як описано в рекомендації G.826.

Подібний підхід використовується в OTN (що використовують структуру циклу за G.709) для моніторингу з’єднання з кінця в кінець та їхніх з’єднань на електричному рівні.

Ці методи є надійними критеріями оцінки характеристик оптичного каналу, однак вони не можуть бути застосовані всередині прозорої оптичної ділянки, де немає 3R

регенераторів, що закінчують структуру циклу. Тому такі методи не можуть дати достатньої інформації для виявлення першопричин виникнення проблем в DWDM мережах.

Окрім того ріст швидкості передавання, числа каналів, довжини оптичних ділянок на мережах DWDM призводить до збільшення впливу нелінійних явищ, що робить більш складною задачу моніторингу системи.

Оптимальним вирішенням для оптичної транспортної мережі є комплексне об'єднання трьох підходів:

- Проектування мережі таким чином, щоб обмежити джерела шуму та дисперсію.
- Відповідна система індикації про аварії для активних оптичних компонентів в межах мережі (для знаходження пошкодження).
- Використання відповідного оптичного моніторингу (для знаходження аномалій, дефектів, деградації і помилок, ефект старіння, вимірювання шуму, температури і вологості, що зачіпають якість оптичного рівня) по всій мережі для контролю критичних оптичних параметрів. (Оптичний Моніторинг дозволяє знизити експлуатаційні витрати, хоча нерідко за рахунок витрат на обладнання).

В рекомендації G.967 класифіковані наступні методи моніторингу:

1. Сигналізаційний моніторинг

Включає в себе моніторинг за часовими і частотними параметрами (найпростіша форма спектрального аналізу - простий моніторинг потужності кожного каналу), як викладено в пункті III.2 рекомендації G.967. Якість моніторингу за цими параметрами чутлива до ефектів спотворення та дисперсії.

2. Моніторинг за непрямими методами.

Непрямі методи використовують емпіричну кореляцію між аваріями обладнання та якістю сигналу. Непрямі методи головним чином вказують на те, що система працює і що якість сигналу погіршено, коли параметр обладнання, що випробується, знаходиться за границями нормованого діапазону.

3. Моніторинг з допомогою вбудованого обладнання

Використовують для дистанційного контролю параметрів мережі. Існують спеціалізовані системи моніторингу.

4. Моніторинг з допомогою зовнішнього обладнання

Моніторинг за допомогою зовнішнього обладнання здійснюється як дистанційно так і на місцях в контрольних точках системи. Найчастіше для моніторингу параметрів WDM системи використовують рефлектометри, оптичні аналізатори спектра, тестери коефіцієнтів помилок (котрі як правило є складовою частиною мережних аналізаторів), вимірювачі оптичної потужності.

Рекомендація G.967 регламентує перелік явищ, що призводять до погіршення у оптичній частині системи, як показано в наступній таблиці.

Чинники, що впливають на якість в оптичній частині системи

Вид погіршення	Відносна частота виникнення	Опис
Загасання	Часто	
Зміна оптичної потужності в каналі внаслідок вимірювання коефіцієнта підсилення в каналі	Часто	
Відхилення від номіналу частоти (або довжини хвилі)	Часто	G.692
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (першого або вищих порядків)	Середньо	Додаток II/G.663
Чотирихвильове змішування (FWM)	Середньо	Додаток II/G.663
Підсилена спонтанна емісія (ASE). Шум в оптичних підсилювачах	Середньо	Додаток II/G.663
Хроматична дисперсія	Середньо	Додаток II/G.663
Нахил хроматичної дисперсії	Середньо	G.652, G.653, G.655
Відбиття	Середньо	Додаток III/G.663
Шум лазера	Середньо	
Внутрішньоканальні перехідні завади	Середньо	G.Sup39
Інтерференційні перехідні завади	Середньо	G.Sup39
Перехресна фазова модуляція (XPM)	Рідко	Додаток II/G.663
Самомодуляція фази (SPM)	Рідко	Додаток II/G.663
Вимушене Бріллюенівське розсіювання (SBS)	Рідко	Додаток II/G.650.2 Додаток II/G.663
Вимушене Раманівське розсіювання (SRS)	Рідко	Додаток II/G.663

Деякі залежності для описаних параметрів показані в додатку I рекомендації G.967
Рівні відносної частоти появи погіршення вказані в таблиці:

- Рідко: коли ймовірність ефекту, що спричинює достатньо суттєвий штраф, X дБ, ≈1 випадок в 10 років.
- Середньо: коли ймовірність ефекту, що спричинює достатньо несприятливий штраф, X дБ, ≈1 випадок в рік.
- Часто: коли ймовірність ефекту, що спричинює достатньо несприятливий штраф, X дБ, ≈10 випадок в рік.

Вищевказані величини відносяться до періоду усталеного режиму життя систем.
Випадок, що призводить до появи штрафу ХдБ, стосується як одного каналу так і багатьох каналів.
Значення для штрафу ХдБ наведено в додатку II рекомендації G.967
Параметрами для оптичного моніторингу, визначеними в рекомендації G.967, є:

- Потужність в каналі
- Повна потужність
- Коефіцієнт оптичного відношення сигнал/шум (OSNR), коли в каналі відсутній значний шум
- Q-фактор

Додаток III рекомендації G.967 містить інформацію щодо вимірювання за доступною в даний час технологією.

Зв’язок між ефектами, що призводять до погіршення, та параметрами оптичного моніторингу:

Параметри	Повна потужність	Потужність в каналі	Довжина хвилі каналу	OSNR	Q-фактор
Вимірювання загасання	X	X		X	X
Відхилення від номіналу частоти (або довжини хвилі)		X	X	X	X
Зміна оптичної потужності в каналі внаслідок вимірювання коефіцієнта підсилення в каналі		X		X	X

§5.3 Рефлектометри за вимірювання параметрів оптичних компонентів.

Метод рефлектометрії має вагомі переваги порівняно з іншими методами контролю параметрів ВОЛЗ:

- Виміри проводяться на одному кінці лінії (або з одного кінця оптичного волокна)
- Є можливість визначення довжини відрізка волокна (кабелю) до місця пошкодження (неоднорідностей, тріщин ОВ, мікровигинів)
- Вимірює втрати на з’єднаннях
- Вимірює коефіцієнт зворотнього відбиття.
- Проводить оцінку стану системи з плином часу, порівнянням первинних та отриманих поточних рефлектограм.

Можна виділити три види рефлектометрів за принципом дії та сферою застосування:

1. Імпульсний рефлектометр
2. Частотний рефлектометр
3. Брілюенівський рефлектометр

Імпульсний рефлектометр

Робота рефлектометра полягає в дослідженні відбитого сигналу, котрий виникає внаслідок зворотнього розсіювання в оптичному тракті. Лазер подає в оптичну лінію світловий імпульс з певним періодом повторення, через певні проміжки часу прилад визначає потужність отриманого зворотнього сигналу.

Характеристиками рефлектометра є:

- Динамічний діапазон — визначається як різниця між сигналом на початку рефлектограми та середньоквадратичним значенням шумів в кінці рефлектограми (цей параметр впливає на максимальну відстань, з якою може працювати прилад, чим він більший, тим більша відстань роботоспроможності приладу)
- Границі зміни тривалості імпульсу (для коротких ліній потрібні короткотривалі імпульси, адже сильний сплеск від рознімного з’єднувача при відбитті може зробити приймач приладу нечутливим, внаслідок чого з’являється «мертва зона», тобто відстань, на котрій покази приладу не можна вважати достовірними. (Мертва зона приладу вимірюється за імпульсом найменшої тривалості. Розрізняють мертві зони по відбиттю та по загасанню, як це показано на рисунку. Величина мертвої зони залежить не лише від тривалості імпульсу, а також і від коефіцієнта відбиття від неоднорідності та відстані до неоднорідності)
- Роздільна здатність рефлектометра.

- Можливість комп’ютерної обробки результатів (що дає змогу більш ефективно обробляти отримані результати)

Мертві зони рефлектометра — це дільниці поблизу відбиваючих елементів, в котрих не можна достовірно проводити виміри. Дільницю поблизу відбиваючої події, в межах якої неможливо виявити іншу відбиваючу подію, називають мертвою зоною відбиття. Ділянка поблизу відбиваючої події, в межах котрої неможливо достовірно виміряти рівень потужності зворотнього розсіювання, називається мертвою зоною загасання.

Мертва зона відбиття визначається відстанню між початком відбиття та точкою на спаді піку відбиття з рівнем меншим на 1,5 дБ відносно піку.

Мертва зона загасання визначається відстанню від початку відбиття до точки, в котрій рівень сигналу фотоприймача відрізняється не більше ніж на ±0,5 дБ від рівня зворотнього розсіювання.

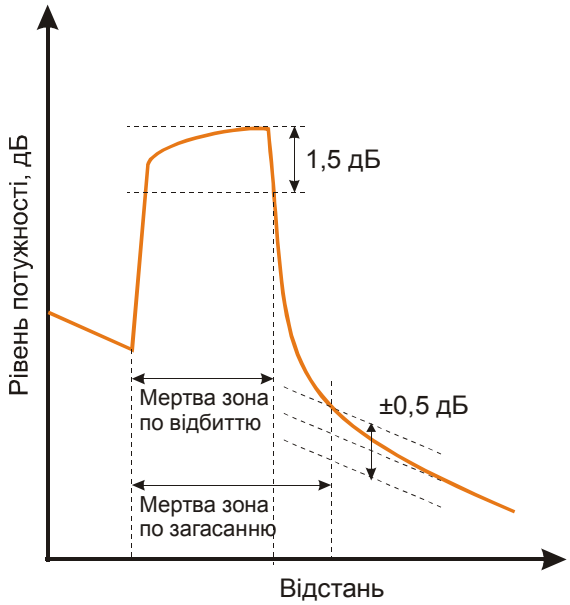


Рисунок 5.1 Приклад визначення мертвих зон

Нахил кривої на рефлектограмі характеризує коефіцієнт загасання волокна в дБ. На ділянках, вільних від відбиваючих чи поглинаючих об’єктів, це спадна пряма лінія, за якою досить точно можна визначити коефіцієнт відбиття, не дивлячись на те, що вимірювання проводиться непрямо, за загасанням відбитого світла. На рефлектограмі також видно місця з’єднання волокон та точкові дефекти. За допомогою рефлектограми можна визначити відстань та тип подібної неоднорідності, а також величину втрат на них. Піки на з’єднаннях зумовлені френелівським розсіюванням на торцях волокон, поява такого піку на місцях зварних з’єднань свідчить про погану якість зварювання. Зварні з’єднання як правило не є відбиваючими і втрати на них схожі на місця мікровигинів.

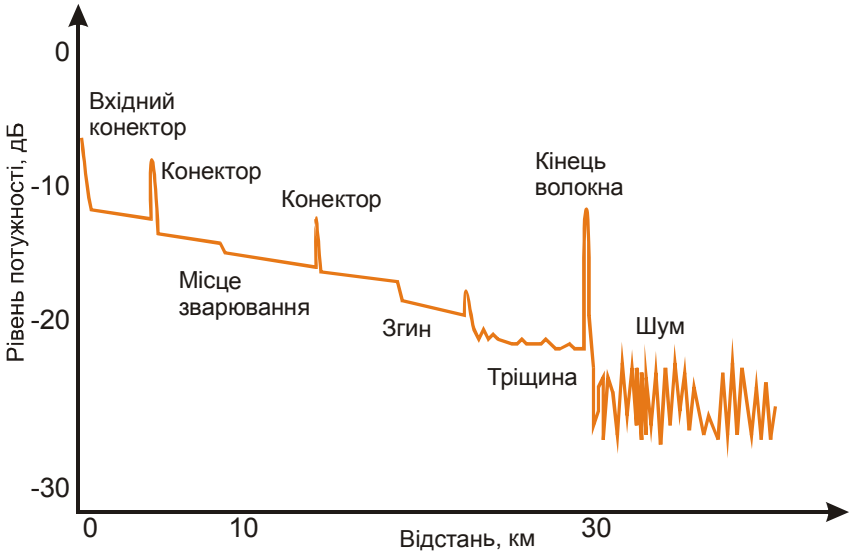


Рисунок 5.2 Приклад типової рефлекторами

При вимірюванні рефлектометром в місцях з'єднань волокон різного типу можлива помилка в обробці результатів, джерелом якої є відмінність коефіцієнтів зворотнього розсіювання з'єднаних волокон. Виміряне за рефлектограмою значення втрат на з'єднанні відрізнятиметься від реального значення на величину різниці коефіцієнтів зворотнього розсіювання в дБ. Наприклад, з'єднання ділянок I та II виглядає як ділянка, на котрій відбулось підсилення сигналу, а ділянка на з'єднанні II та III – як така, що вносить втрати, які перевищують їхню реальну величину.

Вимірювання рефлектометром втрат на з'єднанні волокон дає правильний результат у випадку, коли коефіцієнти зворотнього розсіювання двох волокон рівні. При різних величинах цих коефіцієнтів потрібно корегувати результати, або для більшої точності обчислювати результат за допомогою двох рефлектограм, знятих з протилежних кінців, в такому випадку втрати на з'єднанні дорівнюватимуть півсумі вимірів з двох рефлектограм, знятих з різних кінців.

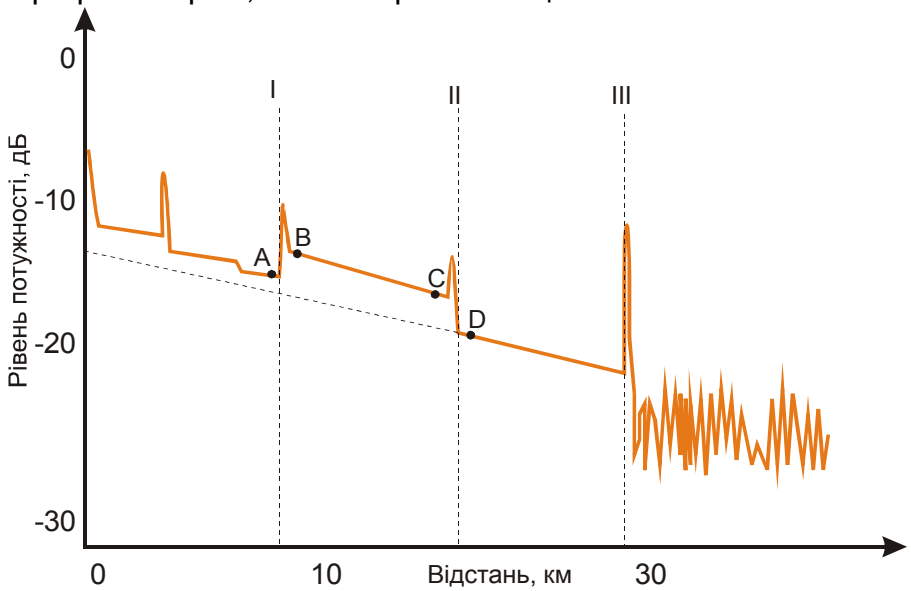


Рисунок 5.3 Приклад появи помилок при аналізі рефлектограм

Частотний рефлектометр

Метод частотної рефлектометрії OFDR (Optical frequency domain reflectometr), ще називають методом частотно-модульованого зондування. За такого методу в оптичне волокно вводиться не імпульсне оптичне випромінювання, а безперервний сигнал, частота котрого промодульована сигналом, що змінюється за заданим законом (як правило використовується лінійна модуляція частоти сигналу).

Відбитий в оптичному волокні сигнал повертається і змішується із зондуючим опорним сигналом. В результаті формується послідовність з биття, частотний спектр якої описує зміну зондуючого сигналу вздовж волоконного тракту. При цьому частота сигналу биття ***F*** пов'язана із затримкою проходження зондуючого імпульсу до точки з координатою ***x*** на тракті наступним чином:

$$F = \gamma \cdot \tau = (2 \cdot \omega \cdot F_m) \cdot \left(2 \cdot n \cdot x \middle/ c\right)$$

де:

- ω – девіація частоти зондуючого сигналу
- $\gamma = 2\omega F_m$ – швидкість зміни частоти зондуючого імпульсу
- F_m – частота повторень функції модуляції зондуючого сигналу
- n – показник заломлення серцевина оптичного волокна
- c – швидкість світла у вакуумі

Брілюенівський рефлектометр

Брілюенівський рефлектометр використовується для виявлення місць з великим натягом волокон. Такі місця є потенційними місцями виникнення мікротріщин та обриву волокон. Виявлення таких місць до монтажу оптичного кабелю дозволяє убезпечити кабель від швидкого старіння і виходу з ладу внаслідок виникнення тріщин та обриву волокон. Звичайно, всі інші параметри волокон при цьому можуть бути в нормі, однак зайвий натяг волокон призведе до виходу цілком працездатного кабелю з ладу.

Брілюенівський рефлектометр має в своїй конструкції пристрій зсуву за частотою, де зондуючий сигнал отримує зсув на величину Δv, у волокні виникає сигнал, зсунутий за частотою на величину $\Delta v_Б$, що повертається на фотодетектор, на котрий також поступає опорний сигнал, внаслідок чого фотодетектор реєструє биття з частотою $\Delta v – \Delta v_Б$.

Спершу проводиться вимір кількох рефлектограм за різних величин зсуву Δv. Потім визначається положення максимуму кривої розсіювання для кожної довжини волокна, котре і відповідає Брілюенівському зсуву частоти $\Delta v_Б$. Потім комп'ютерно обчислюється натяг за зсувом частоти. Коефіцієнт пропорційності залежить від температури волокна та показника заломлення, і ці дані вводяться в програму заздалегідь.

§5.4 Оптичні аналізатори спектра при вимірюванні параметрів оптичних компонентів.

Оптичні аналізатори спектра OSA (Optical Spectrum Analyzer) доволяють контролювати такі параметри як центральна довжина хвилі, відстань між сусідніми каналами, потужність, відношення сигнал/шум та інші.

Принцип роботи оптичного аналізатора спектра полягає в розділенні світлового потоку на монохроматичні компоненти з подальшим виміром потужності кожної складової. OSA дає можливість дослідити весь спектральний профіль сигналу в потрібному діапазоні довжин хвиль. Для сигналу, що проходить по волокну DWDM системи, можуть бути проаналізовані оптичні характеристики кожного каналу та взаємний вплив різних каналів.

Сучасні моделі OSA широко використовуються для автоматизованого моніторингу WDM систем.

Важливими характеристиками OSA є:

- Коефіцієнт оптичного відхилення (Optical Rejection Ratio, ORR) – характеризує максимальне значення відношення сигнал/шум, котре OSA може виміряти в даному діапазоні за пікового значення сигналу. Чим більше каналів та чим менший інтервал між каналами і ширина власне каналів DWDM системи, тим потрібен більший ORR для відображення параметрів оптичного сигналу.
- Динамічний діапазон за потужністю – характеризує пропускну здатність оптичного детектора OSA (здатність виміряти всі різні рівні потужності). Прилад, що має широкий динамічний діапазон, дає можливість точно виміряти сигнали як високої так і низької потужності – це дає повне зображення спектра.
- Діапазон довжин хвиль – характеризує здатність OSA аналізувати сигнали у визначеній області спектра.
- Вирішувальна здатність за довжиною хвилі – характеризує можливість OSA розрізняти сигнали з близькими значеннями довжини хвилі.

Для отримання повної картини про стан DWDM системи OSA потрібно використовувати разом з аналізаторами бітових помилок.

Розділ 6 Методи, що можуть застосовуватись для вимірювання низки параметрів елементів WDM системи

При вимірюваннях необхідно приділяти увагу наступним чинникам:

- Вимірювальні прилади повинні бути повірені.
- Потрібно визначити кліматичні умови, в котрих проводяться виміри. (Для електрозв'язку використовується ГОСТ 20.57.406-81 (Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний)). Нормальними кліматичними умовами згідно з цим ГОСТ вважаються:

Температура навколишнього повітря: від 15 до 35º С.
Відносна вологість повітря від 45 до 80%.
Атмосферний тиск від 84 до 106 кПа (від 630 до 800 мм рт. ст.).
(Причому, за температури вищої від 30º С, вологість не повинна бути вищою за 70%)

- Потрібно визначити похибку результату вимірювання, та точність самого методу вимірювань.

§6.1 Приклад тестування елементів WDM системи

Перевірка параметрів транспондерів

Мінімальна чутливість приймача

Метою цього випробування є визначення границь діапазону оптичної потужності, в якому можлива безпомилкова передача даних. Параметр наводиться для розрахунку максимальної довжини регенераційнї ділянки.

За допомогою змінного атенюатора змінюють показник загасання до тих пір, доки на прийомі коефіцієнт помилок не перевищить заданої величини (для даного типу систем це зазвичай 10^{-12}).

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.1.

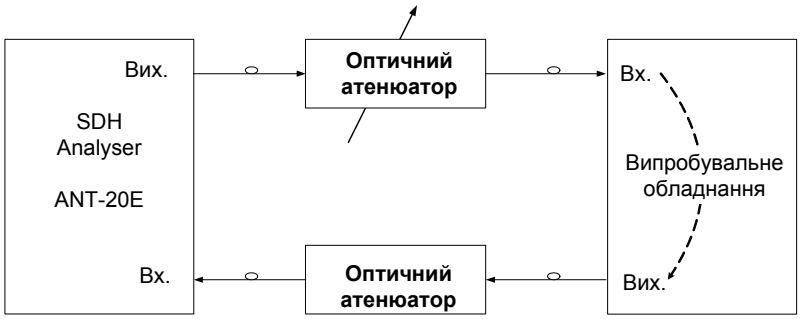


Рис. 6.1

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 4; 5 рекомендації G.691; таблицях 3; 4 рекомендації G.693 та таблицях 8.2; 8.3 рекомендації G.959.1.

Мінімальний рівень перенавантаження приймача

Випробування проводять для визначення максимального рівня сигналу на вході приймача.

Параметр наводиться для відображення здатності створення крос-з'єднання та для розрахунку мінімальної довжини регенераційної ділянки.

За допомогою оптичного атенюатора змінюють рівень сигналу на оптичному вході (для того, щоб уникнути пошкоджень приймача, вхідна потужність не повинна перевищувати рекомендованої величини, вказаної в технічній специфікації на конкретне обладнання).

Максимальним оптичним рівнем перенавантаження буде такий рівень, за якого система ще здатна до прийому при допустимому коефіцієнтові помилок.

Після встановлення за допомогою атенюатора рівня, при якому помилки увійшли в границі норми, необхідно очікувати впродовж 5 хвилин для уточнення результату, за незмінності величини помилок даний рівень буде вважатись отриманим значенням.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.2.

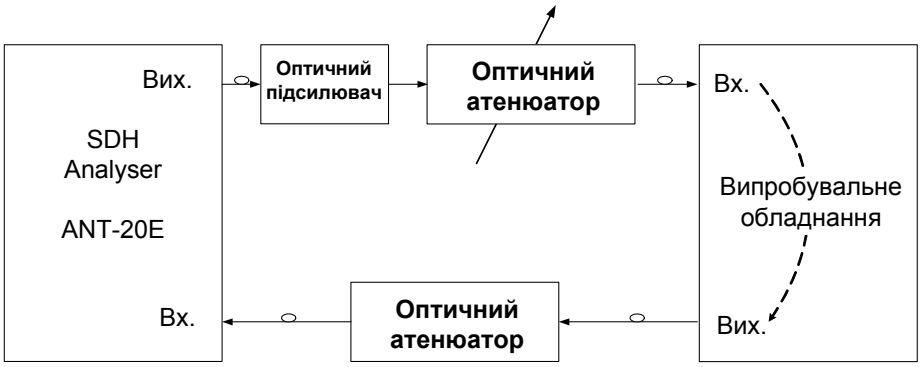


Рис. 6.2

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 4; 5 рекомендації G.691; таблицях 3; 4 рекомендації G.693 та таблицях 8.2; 8.3 рекомендації G.959.1.

Максимальне відхилення швидкості передавання

Вимірюється максимальне та мінімальне відхилення швидкості вхідного потоку, за якої зберігається заданий рівень коефіцієнта помилок.

Параметр вказує якісні характеристики обладнання. Збільшують частоту передавання SDH аналізатором, поки не з'являться помилки, після чого її зменшують, поки помилки не встановлюються на допустимому рівні. Після встановлення результату впродовж 5 хвилин, записують результат відхилення. Аналогічні дії повторюють в бік зменшення частоти передавання.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.1.

Отримані результати вимірювань повинні не перевищувати допустимий рівень BER, вказаний в Технічній Документації (ТД) на обладнання.

Втрати відбиття

Параметр вказує на величину завад, які виникають в лінії в зв'язку з виникненням інтерференції імпульсів, що призводить до погіршення відношення сигнал/шум.

Під'єднавши оптичний рефлектометр, вимірюють величину зворотнього відбиття в оптичному приймачі.

При вимірювання потрібно особливу увагу приділити чистоті волокон, що під'єднані до оптичного зворотнього рефлектометра.

$$ORL = 10 \cdot \lg \frac{P_{вх.}}{P_{від.}}$$

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.3.

Рис. 6.3

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Максимальне вхідне фазове тремтіння

Параметр визначає максимальне фазове тремтіння на вході обладнання за якого якість передачі та параметри вхідного сигналу не виходять за вказані робочі діапазони. Параметр вказує на здатність обладнання відновлювати часові характеристики параметрів сигналу за наявності швидких фазових зсувів на вході інтерфейсу. Параметр характеризує роботу системи синхронізації та прийому.

Оцінюється максимальне фазове тремтіння на вході обладнання.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.1.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 6; 7 рекомендації G.825 та таблицях 1; 2; 3, рисунку 1 рекомендації G.8251.

Довжина хвилі випромінювання та ширина спектральної лінії

Параметр визначає основні робочі умови системи передачі. Впливає на дисперсійні та шумові характеристики лінійного тракту.

Оцінюється ширина спектральної лінії та відповідність довжини хвилі – нормам.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.4.

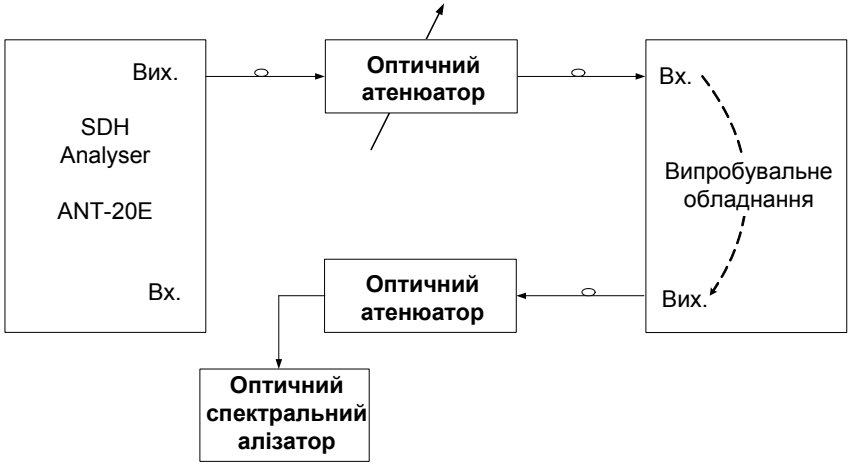


Рис. 6.4

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 4; 5 рекомендації G.691; таблицях 3; 4 рекомендації G.693 та таблицях 8.2; 8.3 рекомендації G.959.1.

Середня потужність випромінювання

Параметр впливає на енергетичний потенціал системи, нелінійні параметри лінії зв'язку та довжину регенераційної ділянки.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.5.

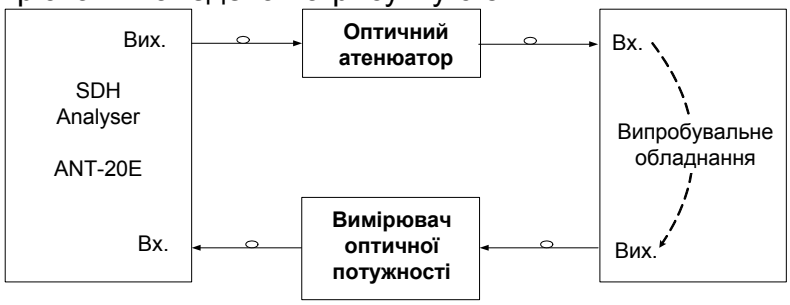


Рис. 6.5

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 4; 5 рекомендації G.691; таблицях 3; 4 рекомендації G.693 і таблицях 8.2; 8.3 рекомендації G.959.1.

Форма імпульсу (око-діаграма) та мінімальний коефіцієнт гасіння лазера

Перевіряють відповідність показників оптичного сигналу – встановленому для нього шаблону.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.6.

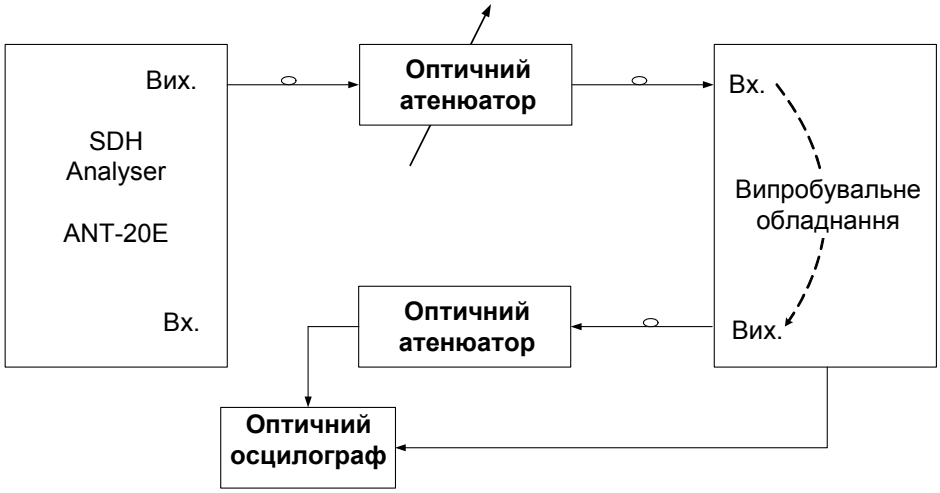


Рис. 6.6

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені на рисунку 2 рекомендації G.691; в таблицях 3; 4 рекомендації G.693.

Коефіцієнт гасіння лазера визначається за результатами виміряної «око-діаграми» оптичного сигналу на виході стику. Коефіцієнт гасіння лазера розраховується за формулою

$$K_{Á} = 10 \cdot \lg \frac{A}{B}$$

де: A – рівень середньої потужності оптичного сигналу при передаванні логічної "1",

B – рівень середньої потужності оптичного сигналу при передаванні логічного "0"

Отримані результати повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 4; 5 рекомендації G.691; таблицях 3; 4 рекомендації G.693 та таблицях 8.2; 8.3 рекомендації G.959.1.

Максимальне фазове тремтіння на виході.

Параметр вказує на здатність обладнання формувати вихідний цифровий потік з визначеними параметрами, без дії на нього вхідного фазового тремтіння. Характеризує величину фазового тремтіння, котру вноситиме дане обладнання в тракт передачі.

Оцінюється максимальне фазове тремтіння на виході обладнання, за відсутності фазового тремтіння на вході, – для оцінки того, яке фазове тремтіння буде вноситись даним обладнанням. Перевіряють вкладення показників у встановлений шаблон.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.1.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 6; 7 рекомендації G.813 та таблиці А.3 рекомендації G.8251.

Характеристика передавання фазового тремтіння

Параметр відображає вплив обладнання на величину спектральних складових фазового тремтіння, отриманого на вхідному інтерфейсі.

Перевіряють вкладення показників у встановлений шаблон.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.1.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 15-2, рисунку 15-1 рекомендації G.783 і таблиці А.4; рисунку А.1 рекомендації G.8251.

Затримка передавання даних

Параметр визначає вносиму обладнанням затримку в формування вихідного групового сигналу.

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.1.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Холодний запуск

Параметр визначає час, за який обладнання входить в робочий діапазон параметрів. Параметр визначає коефіцієнти готовності або неготовності при експлуатації обладнання. Слугує оцінкою здатності обладнання відновити свою роботоспроможність при змінах умов експлуатації, пов’язаних з різними чинниками (необхідність перенесення обладнання, з відключенням його від мережі, аварії електроживлення, помилки операторів, тощо). Вимикають обладнання. Через, мінімум, 1 хвилину вмикають обладнання. Реєструють наявність помилок при включенні.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.2.

Запуск системи повинен відбуватись без помилок.

<u>Перевірка параметрів WDM мультиплексорів та демультиплексорів</u>

Сітка частот

Параметр визначає відповідність центральних довжин хвиль нормованим значенням. Параметр впливає на роботоспроможність обладнання.

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.4.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в таблиці 1 рекомендації G.694.1 і таблиці 1 рекомендації G.694.2.

Мінімальний рівень перенавантаження

Вимірювання здійснюються відповідно до IEC 61280-2-1

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.8.

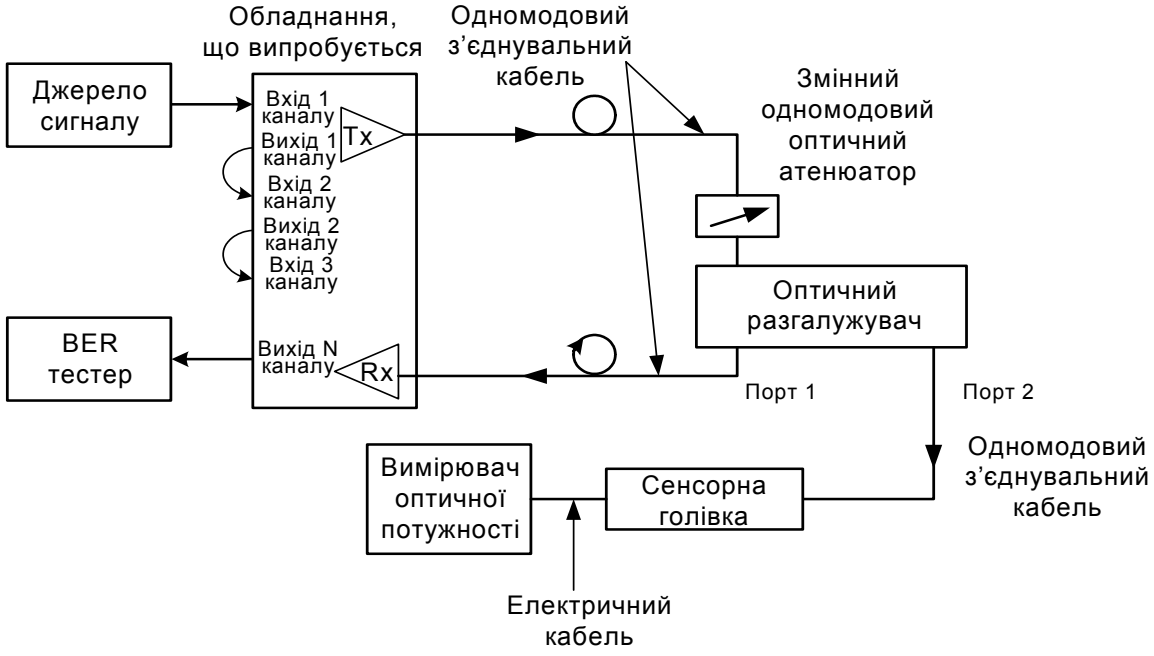


Рис. 6.8

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 8 рекомендації G.695 і таблицях 7 рекомендації G.959.1.

Мінімальна чутливість приймача

Вимірювання здійснюються відповідно до IEC 61280-2-1

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.9.

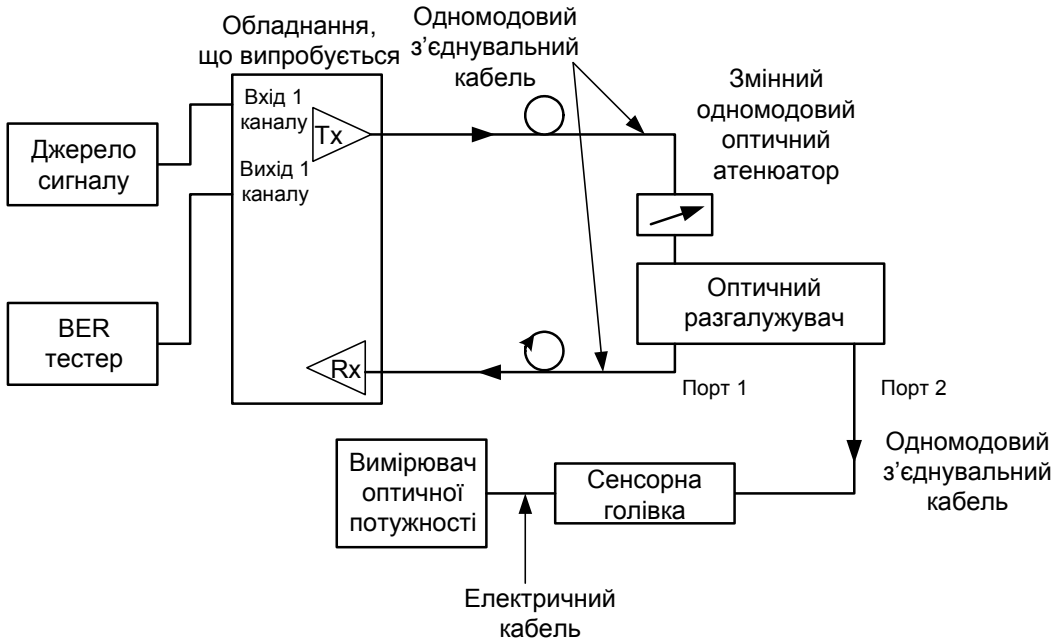


Рис. 6.9

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 8 рекомендації G.695 і таблицях 7 рекомендації G.959.1.

Смуга спектра каналу на рівні 1 дБ

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.10.

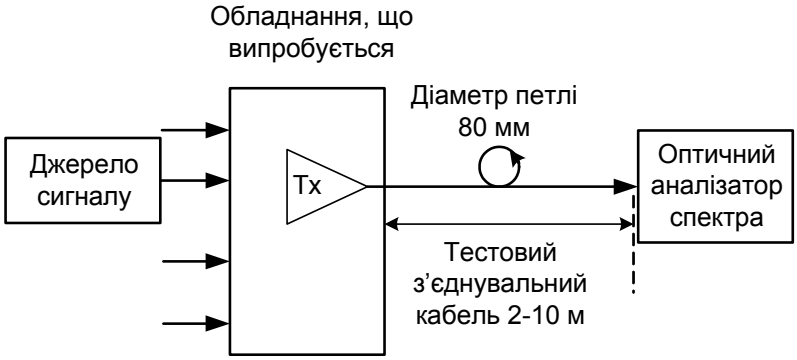


Рис. 6.10

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Смуга спектра каналу на рівні 3 дБ

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.10.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Максимальні втрати в каналі, внесені системою

Параметр визначає рівень втрат, що виникають внаслідок внесення обладнання в лінійний тракт. Параметр впливає на енергетичний запас системи.

Вимірювання здійснюються відповідно до IEC 61300-3-4 (IEC 61290-2-2; IEC 61290-2-1).

Втрати, що вносяться, оцінюють за формулою:

$$IL = 10 \cdot \lg \frac{P_{вх.}}{P_{вих.}}$$

Схема вимірювань обирається згідно з IEC 61300-3-4 Таблиця 2; пункт 4.2.5; рисунок 5, і наведена на рисунку 6.11. (можна також застосовувати метод з використанням електричного спектроаналізатора, показано у IEC 61290-2-2 рис.1 пункт 3, або оптичного спектроаналізатора, як показано у IEC 61290-2-1 рис.1; пункт 3)

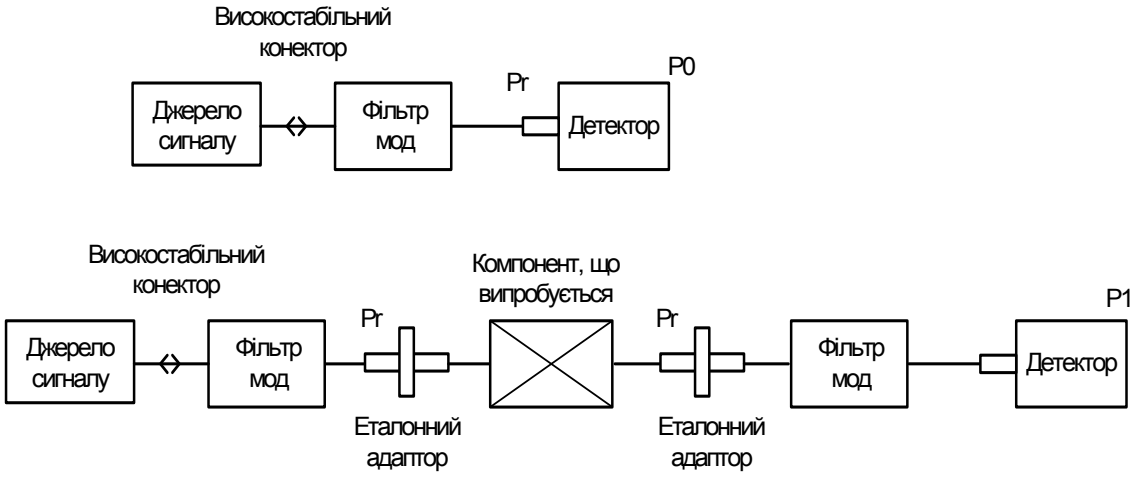


Рис. 6.11

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання..

Мінімальна ізоляція між сусідніми каналами

Параметр вказує на спроможність обладнання створювати канали з частотним розділенням із заданими коефіцієнтами перехідних завад. Параметр впливає на якість передачі групового сигналу.

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.10.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Середня вихідна потужність

Виміри проводяться відповідно до IEC 61280-1-1 (Схема застосовується лише для одномодових волокон)

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.12.

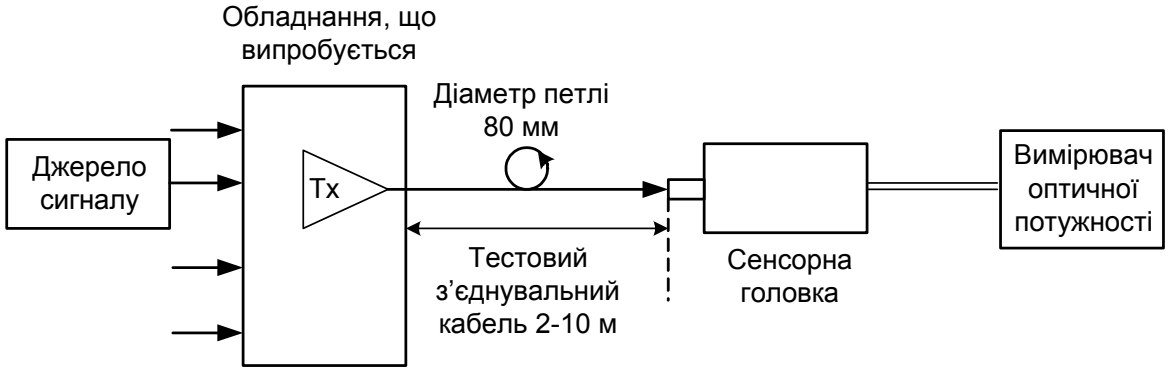


Рис. 6.12

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 8 рекомендації G.695 і таблицях 7 рекомендації G.959.1.

Форма імпульсу ("око–діаграма")

Виміри проводяться відповідно до IEC 61280-2-2

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.13.

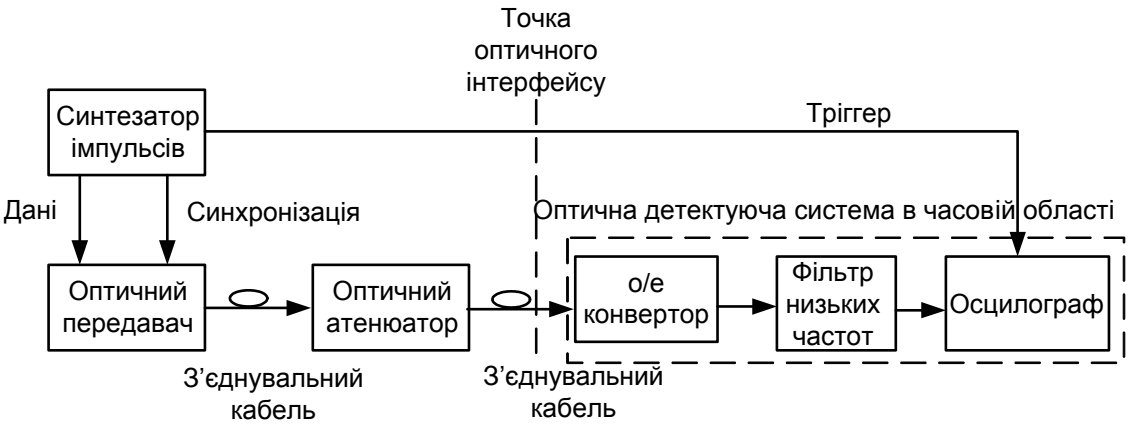


Рис. 6.13

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 8 рекомендації G.695 і таблицях 7 рекомендації G.959.1.

Q-фактор

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.14.

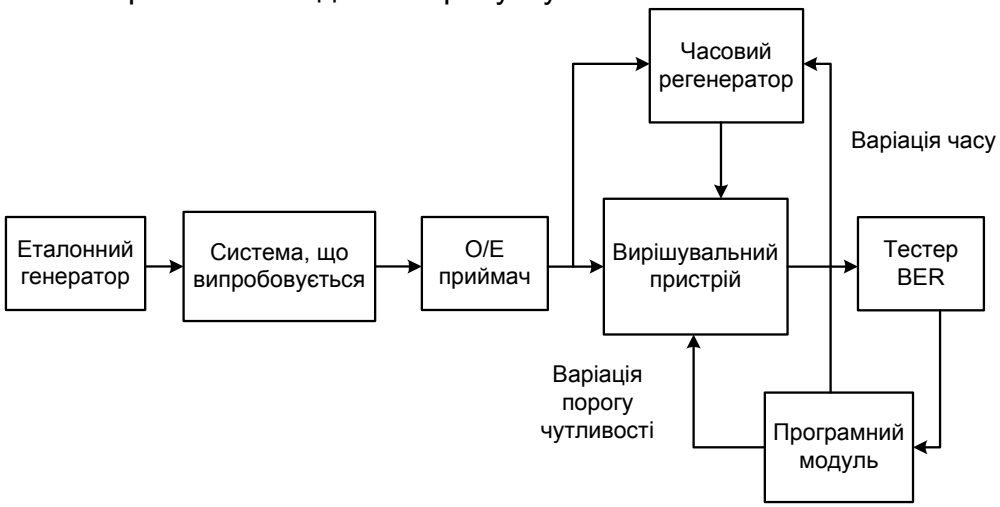


Рис.6.14 (IV.2/O.201)

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання і рекомендації O.201 та додатку G.Sup.39, а саме: добротність повинна бути вищою від добротності, котра відповідає рівню BER для даного інтерфейсу, тобто для $BER=10^{-12}$ Q-фактор повинен бути Q>7,03.

Мінімальний коефіцієнт гасіння лазера

Виміри проводять відповідно до IEC 61280-2-2

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.13.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання і таблицях 8 рекомендації G.695 та таблицях 7 рекомендації G.959.1.

Спектральна характеристика лінійного сигналу

Параметр відображає розділ каналів за довжинами хвиль та їх енергетичні і спектральні параметри.

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.15.

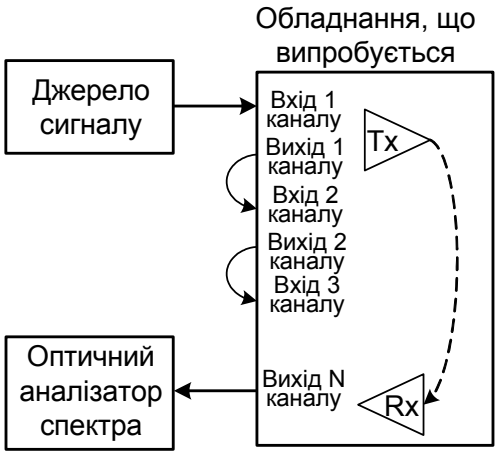


Рис. 6.15

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 8 рекомендації G.695 і таблицях 7 рекомендації G.959.1.

Максимальний коефіцієнт відбиття

Схема вимірювань обирається згідно з IEC 61300-3-7 пункт 5.1; рисунки 1; 2; 3; 4 і наведена на рисунку 2.14. (можна також застосовувати метод з використанням замість ОСА оптичного детектора, та замість широкосмугового джерела – джерела зі змінною довжиною хвилі, див. згідно з IEC 61300-3-7 пункт 5.2 рисунки 5; 6; 7; 8)

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.16.

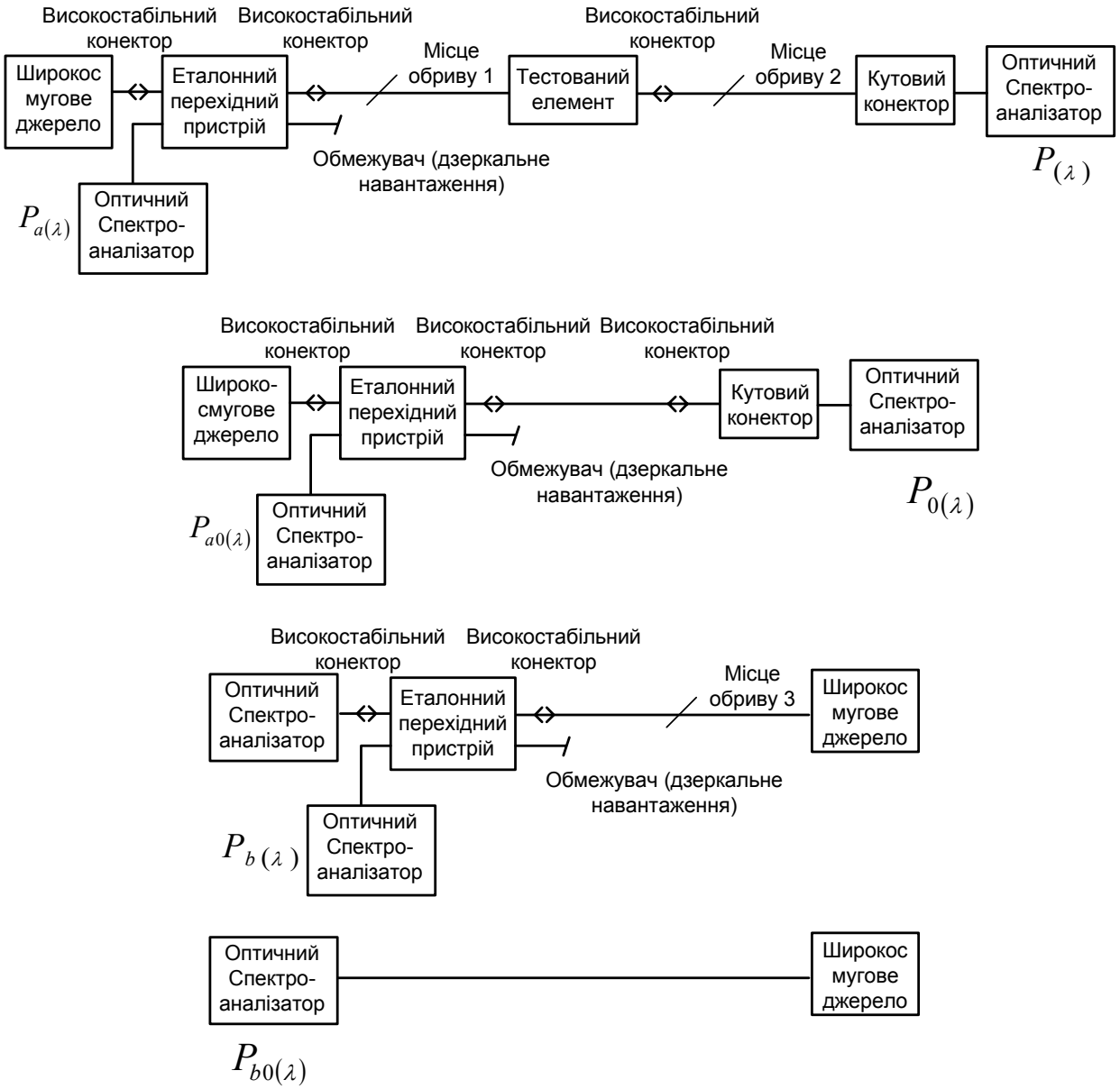


Рис. 6.16

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях 8 рекомендації G.695 і таблицях 7 рекомендації G.959.1.

Перевірка параметрів оптичних підсилювачів

Середня вхідна потужність

Це потужність на вході підсилювача, при якій його параметри знаходяться в робочому діапазоні. Параметр визначає чутливість підсилювача як приймального пристрою та використовується в розрахунках довжин регенераційних ділянок.

Вимірювання проводять згідно з IEC 61290-2-3 рисунок 1 пункт 3. За відсутності оптичного смугового фільтру, можна проводити виміри відповідно до IEC 61290-2-1 рисунок 1 пункт 3. А за наявності електричного спектроаналізатора, – за схемою, що наведена у IEC 61290-2-2 рисунок 1 пункт 3.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.17.

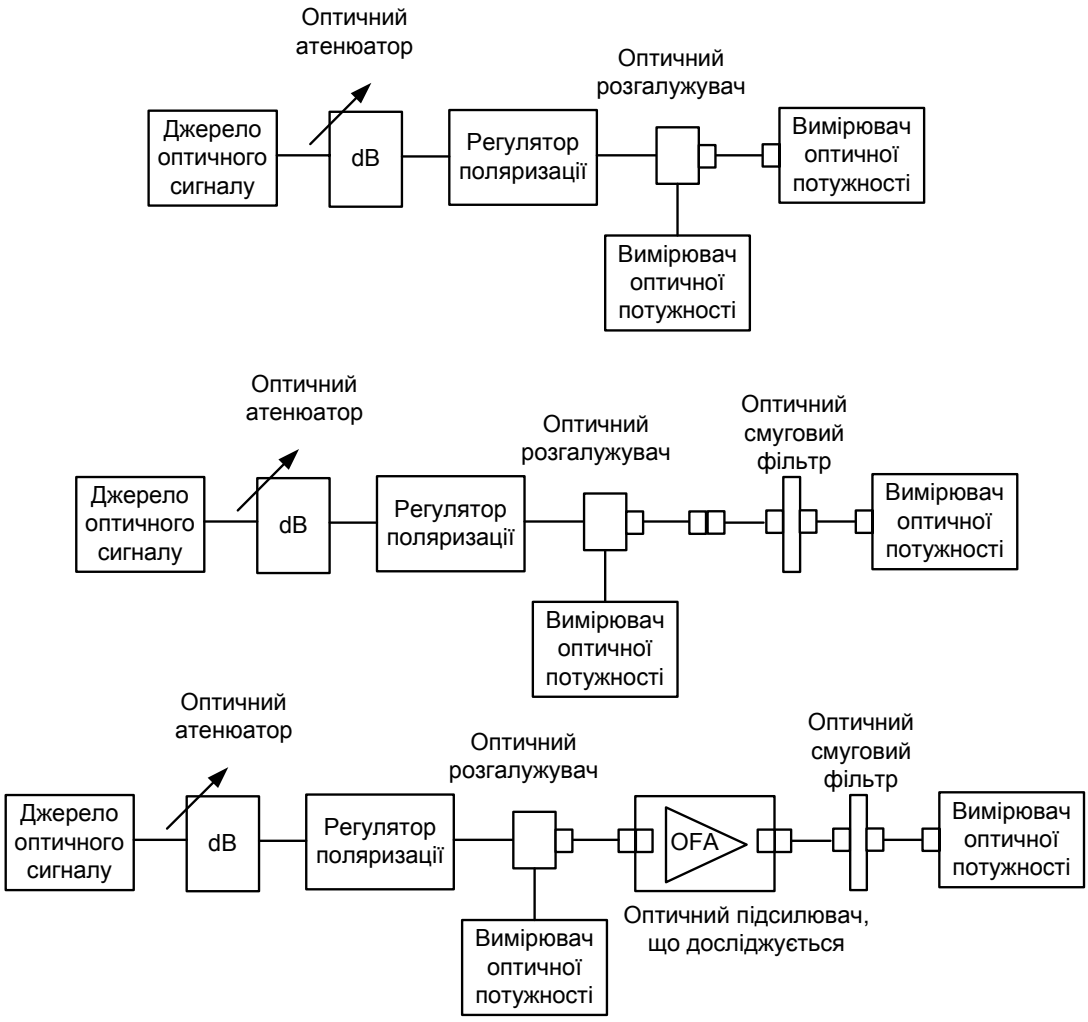


Рис. 6.17

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Максимальні позасмугові втрати, внесені системою

Схема вимірювань обирається згідно з IEC 61290-7-1 пункт 3 рисунок 1.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.18.

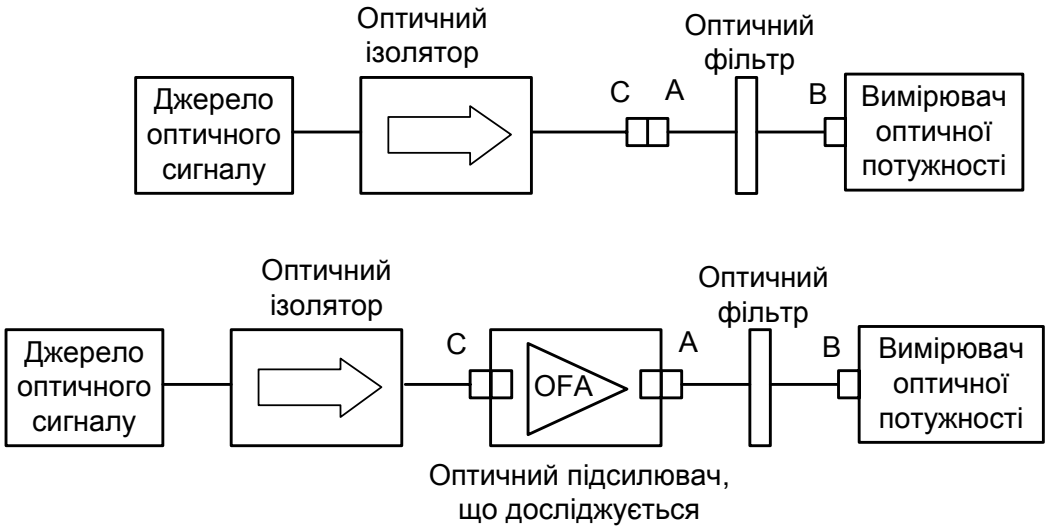


Рис.6.18

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в п. 3.2.9 G.671 та НД на обладнання.

Середня вихідна потужність

Вимірювання проводяться відповідно до IEC 61280-1-1 (на схемі в якості обладнання, що тестується встановлюється підсилювач, котрий випробовують).

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.12

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Коефіцієнт відбиття від входу

Схеми дозволяють отримати спектральні характеристики ORL.

$$ORL = 10 \cdot \lg \frac{P_{вх.}}{P_{від.}}$$

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.19.

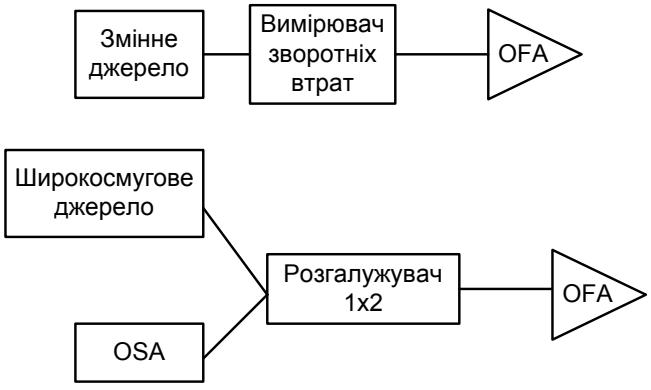


Рис. 6.19

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Коефіцієнт відбиття від виходу

Вимірювання проводять за аналогією вимірювань коефіцієнта відбиття від входу.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.19.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Коефіцієнт підсилення

Параметр визначає здатність відновлювати сигнал за енергетичними параметрами. Параметр використовується в розрахунках довжини регенераційної ділянки.

Вимірювання проводять відповідно до IEC 61290-1-3 пункт 3 рисунок 1. При наявності модуля регулювання поляризації застосовують схему, наведену на рис.1 IEC 61290-1-1 пункт 3. Модуль регулювання поляризації встановлюється після регульованого оптичного атенюатора та перед OFA, що досліджується.

$$G = \frac{P_{сигн.вих.}}{P_{сигн.вх.}}$$

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.20.

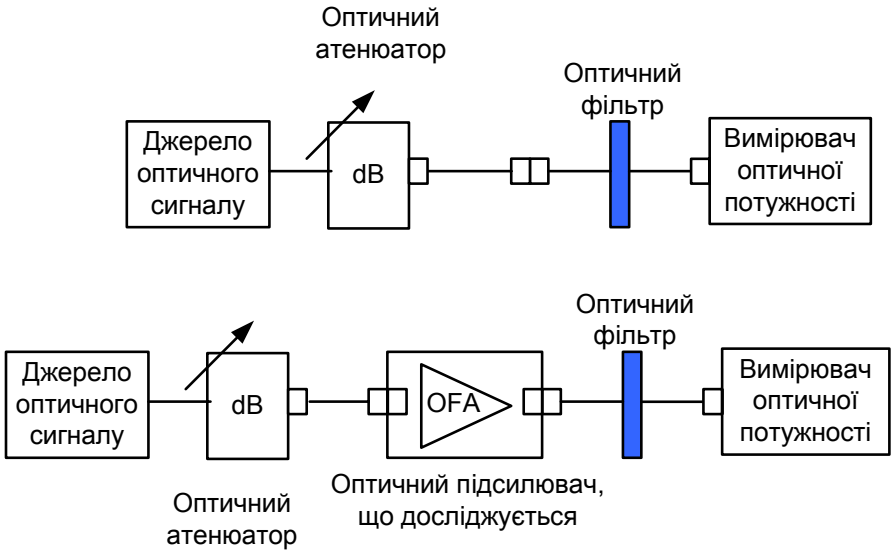


Рис. 6.20

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Мінімальний коефіцієнт гасіння лазера

Вимірювання проводять відповідно до IEC 61280-2-2 рисунок 1 пункт 6.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.13.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Міжканальне допустиме відхилення коефіцієнта підсилення

Параметр визначає якість роботи підсилювача при відновленні групових трактів.

Покази спектроаналізатора порівнюють з нормованими значеннями.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.21.

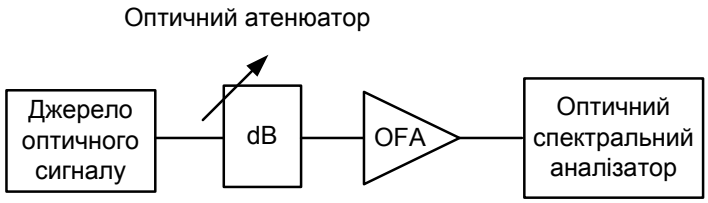


Рис. 6.21

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Міжканальна нерівномірність коефіцієнта підсилення

Параметр відображає величину відхилення коефіцієнта підсилення від номінального значення. Параметр визначає характер накопичення або втрати енергетичних показників каналів групового сигналу.

Покази спектроаналізатора порівнюють з нормованими значеннями.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.21.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Зміна міжканальної різниці канальних коефіцієнтів підсилення

Покази спектроаналізатора порівнюють з нормованими значеннями.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.21.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Діапазон (спектр) підсилення оптичного підсилювача

Параметр визначає діапазон довжин хвиль, де забезпечується нормальна робота підсилювача.

Покази спектроаналізатора порівнюють з нормованими значеннями.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.21.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 3 IEC 61291-4 і таблиці I.1 рекомендації G.663.

Коефіцієнт шуму оптичного підсилювача

Параметр визначає потужність шумів, котрі оптичний підсилювач вносить до оптичного тракту. Параметр визначає обмеження на кількість оптичних підсилювачів, що можуть встановлюватись в оптичний тракт між 3R-регенераторами.

Розрахунок за показами спектроаналізатора порівнюють з нормованими значеннями.

$$NF = \frac{OSNR_{вх.}}{OSNR_{вих.}}$$

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.22.

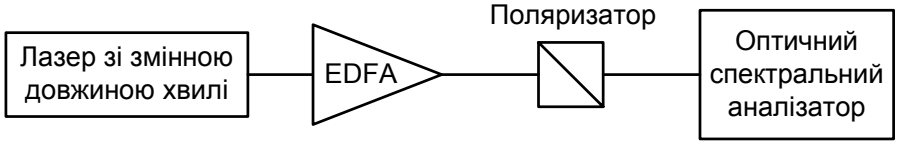


Рис. 6.22

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

<u>Перевірка параметрів контрольного каналу (OSC)</u>

Середня вхідна потужність

Вимірювання проводять згідно з IEC 61290-2-3 рисунок 1 пункт 3. За відсутності оптичного смугового фільтру можна проводити виміри відповідно до IEC 61290-2-1 рисунок 1 пункт 3. А за наявності електричного спектроаналізатора, – за схемою, що наведена у IEC 61290-2-2 рисунок 1 пункт 3.

Замість позначеного на схемі підсилювача, що перевіряється, перевіряють вхід інтерфейсу каналу OSC.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.17.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 8 рекомендації G.695 і таблиці 7 рекомендації G.959.1.

Середня вихідна потужність

Відповідно до IEC 61280-1-1 (на схемі як випробуване обладнання перевіряється вихід інтерфейсу каналу OSC).

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.12

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 8 рекомендації G.695 і таблиці 7 рекомендації G.959.1.

Мінімальна чутливість

За допомогою змінного атенюатора змінюють показник загасання до тих пір, поки на прийомі коефіцієнт помилок не перевищить заданої величини.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.1

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 8 рекомендації G.695 і таблиці 7 рекомендації G.959.1.

Мінімальний рівень перенавантаження

За допомогою оптичного атенюатора змінюють рівень сигналу на оптичному вході (для того, щоб уникнути пошкоджень приймача, вхідна потужність не повинна перевищувати рекомендованої величини, вказаної в технічній специфікації на конкретне обладнання).

Максимальним оптичним рівнем перенавантаження буде такий рівень, за якого система ще здатна до прийому при допустимому коефіцієнті помилок.

Після встановлення за допомогою атенюатора рівня, при якому помилки увійшли в границі норми, необхідно очікувати впродовж 5 хвилин для уточнення результату, при незмінності величини помилок даний рівень буду вважатись отриманим значенням.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.2.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 8 рекомендації G.695 і таблиці 7 рекомендації G.959.1.

Центральна довжина хвилі

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.4

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та пункті 6.9.1 і додатку В рекомендації G.692.

Форма імпульсу (“око-діаграма”)

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.6

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблиці 8 рекомендації G.695 і таблиці 7 рекомендації G.959.1.

Перевірка параметрів модуля захисту (ОРМ)

Вносимі втрати модуля (вхід-вихід приймача; вихід-передавача)

Вимірювання проводять відповідно до IEC 61300-3-4 (IEC 61290-2-2; IEC 61290-2-1)

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.11.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Тривалість переключення

Параметр визначає час, за який пристрій перемикає потік з одного напрямку на інший. Параметр відображає енергійність системи та її здатність до відновлення.

Вимірювач оптичної потужності повинен мати швидкісне АЦП, для фіксації наявності потужності на вході після переключення перемикача.

Вимірюється час між зникненням та появою оптичної потужності на вимірювачі ОП.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.23.

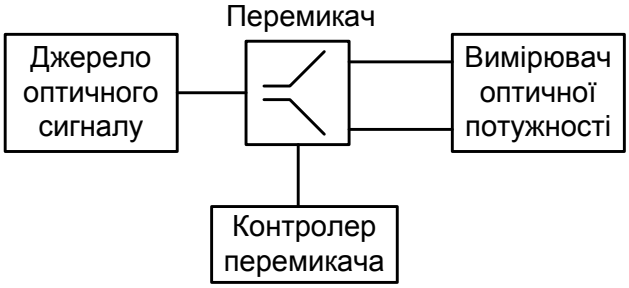


Рис. 6.23

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Максимальна потужність на вході

Виміри проводять відповідно до IEC 61280-1-1.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.11.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Робочий діапазон хвиль

Вимірювання проводять згідно з IEC 61290-2-3 рисунок 1 пункт 3. За відсутності оптичного смугового фільтру, можна проводити виміри відповідно до IEC 61290-2-1 рисунок 1 пункт 3. А за наявності електричного спектроаналізатора, за схемою, що наведена у IEC 61290-2-2 рисунок 1 пункт 3.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.24.

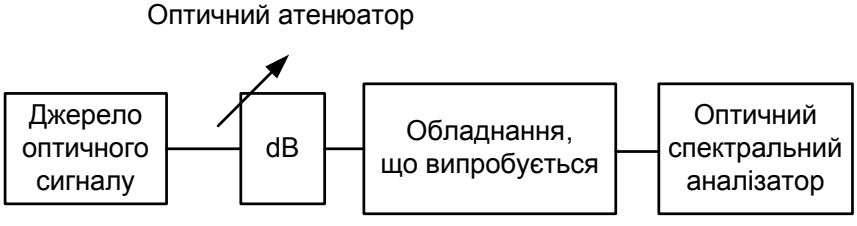


Рис. 6.24

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Мінімальна чутливість приймача

Виміри проводять відповідно до IEC 61280-2-1.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.9

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

<u>Перевірка параметрів компенсаторів хроматичної дисперсії (DCM)</u>

Робоча смуга довжин хвиль

Вимірювання проводять згідно з IEC 61290-2-3 рисунок 1 пункт 3. За відсутності оптичного смугового фільтру, можна проводити виміри відповідно до IEC 61290-2-1 рисунок 1 пункт 3. А за наявності електричного спектроаналізатора, – за схемою, що наведена у IEC 61290-2-2 рисунок 1 пункт 3.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.24.

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Максимальні вносимі втрати

Виміри проводять відповідно до IEC 61300-3-4 (IEC 61290-2-2; IEC 61290-2-1).

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.10

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Максимальна полярізаційна дисперсія моди

Вимірювання компенсації ПДМ компенсатором дисперсії доцільно проводити на лінійних випробуваннях. Виміри проводять за допомогою інтерферометричного методу. На компенсатор дисперсії подається сигнал з широкосмугового джерела, за котрим йде поляризатор, або – від світлодіоду, котрий випромінює світло відповідної лінійної поляризації. Сигнал аналізується за допомогою інтерферометра Майкельсона.

Схема вимірювань (за допомогою інтерферометра Майкельсона (рекомендація ITU G.650.2) наведена на рисунку 6.25.

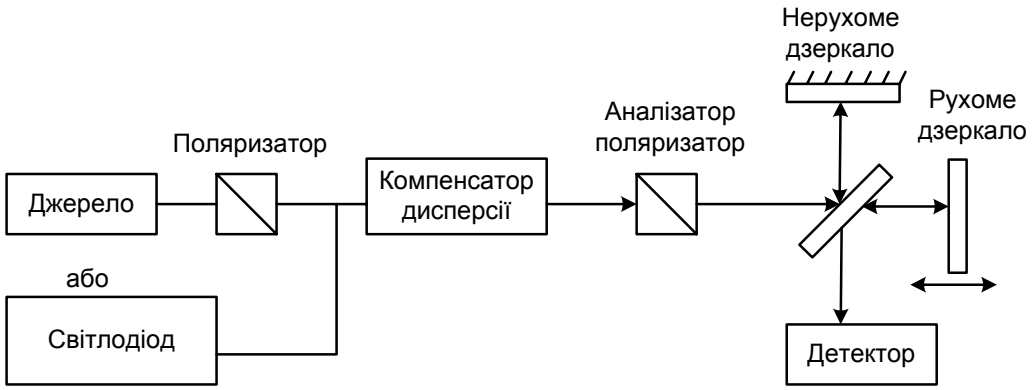


Рис. 6.25

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в НД на обладнання.

Приклад виміру максимального штрафу за оптичний шлях

Максимальний штраф за оптичний шлях

Параметр залежить від мінімальної чутливості приймача та відображає сукупність повної дисперсії та загасання відбиття, отримані в лінії. Перевищення нормованого параметра призводить до погіршення роботи системи.

Схема вимірювань наведена на рисунку 6.7.

Проводиться вимірювання величин загасань, що вносяться в лінійний тракт (з допомогою змінного атенюатора до моменту перевищення коефіцієнта помилок), без лінії, з секцією оптичних волокон (10 км; 15 км; 25 км), та постійних атенюаторів, котрі вирівнюють розбіжності між втратами на різних довжинах секцій волокна.

Отриманні дані не повинні відрізнятись між собою на значення, вказані в рекомендаціях ITU.

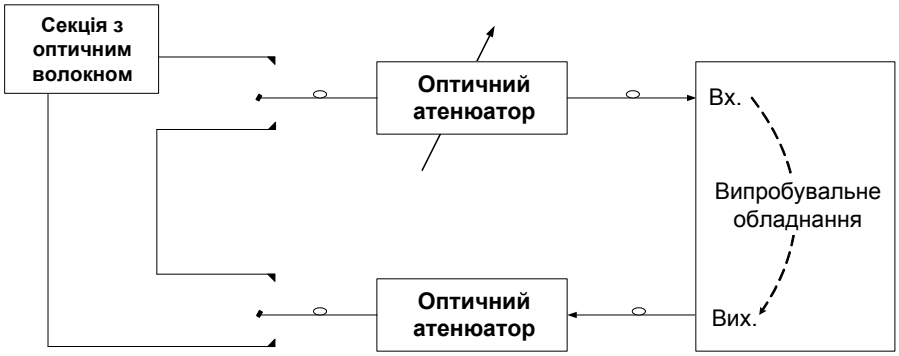


Рис. 6.7

Отримані результати вимірювань повинні відповідати даним, котрі наведені в Технічній Документації (ТД) на обладнання та таблицях: 4; 5 рекомендації G.691; таблицях 3; 4 рекомендації G.693 таблицях 8 рекомендації G.695 і таблицях 8.2; 8.3 рекомендації G.959.1.

§6.2 Перевірка параметрів оптичних волокон

Основні методи тестування для визначення характеристик волокон при виробництві наведені в таблиці:

Параметри волокна	Методика тесту ITU	Методика тесту EIA/TIA	Методика тесту IEC	Наявність відповідних стандартів України
Загасання	G.650.1	EIA/TIA-455-78	IEC 793-1-C1A або IEC 793-1-C1B або IEC 793-1-C1C	ДСТУ IEC 60793-1-2 ДСТУ IEC 60793-1-5 ДСТУ IEC 60794-1-1
Точкові дефекти	—	EIA/TIA-455-59	IEC 793-1-C1C	
Загасання на макровигинах	—	EIA/TIA-455-62	IEC 793-1-C11	
Кабельна довжина хвилі зрізу	G.650.1	EIA/TIA-455-170	IEC 793-1-C7B	
Хроматична дисперсія	G.650.1	EIA/TIA-455-175	IEC 793-1-C5C	
Поляризаційна дисперсія моди	G.650.2	EIA/TIA-455-113÷122	—	
Діаметр поля моди	G.650.1	EIA/TIA-455-164 або EIA/TIA-455-167	IEC 793-1-C9A або IEC 793-1-C9B	
Діаметр оболонки	G.650.1	EIA/TIA-455-176	IEC 793-1-A2	
Некруглість оболонки	G.650.1	EIA/TIA-455-176	IEC 793-1-A2	
Помилка концентричності серцевина/оболонка	G.650.1	EIA/TIA-455-176	IEC 793-1-A2	
Геометрія покриття волокна	—	EIA/TIA-455-173	IEC 793-1-A3	
Зусилля очистки волокна від покриття	—	EIA/TIA-455-178	IEC 793-1-B6	
Сила розтягування	—	EIA/TIA-455-28	IEC 793-1-B2A, B2B	
Скрутка волокна	—	EIA/TIA-455-111	—	
Довжина волокна	G.650.1	EIA/TIA-455-60	IEC 793-1-C1C	
Робочий діапазон температур	G.650.1	EIA/TIA-455-89	—	
Цикл температури	G.650.1	EIA/TIA-455-3	IEC 793-1-D1	
Цикл температури/вологості	G.650.1	EIA/TIA-455-72÷73	—	
Занурення в рідину	—	EIA/TIA-455-74÷75	—	
Високотемпературне старіння	—	EIA/TIA-455-67÷70	—	
Динамічна втома	G.650.1	EIA/TIA-455-76	IEC 793-1-B7A	
Статична втома	G.650.1	EIA/TIA-455-97	IEC 793-1-B7D	

§6.3 Параметри інтерфейсів відповідно з рекомендаціями ITU G.957; G.691; G.693; G.695; G.959.1

Рекомендація G.957 (редакція від 06 – 1999):

Маркування оптичних інтерфейсів згідно з рекомендацією G.957 має такий зміст:

За дистанцією роботи:

I – (Intra-office) Внутрішньоофісні (внутрішньооб'єктові);

S – (Short-haul) Короткої дистанції;

L – (Long-haul) Великої дистанції;

Перша цифра після літери вказує на рівень синхронного транспортного модулю STM, друга цифра (після точки, якщо вона є) вказує на робочу довжину хвилі та тип волокна, що використовується для даного інтерфейсу.

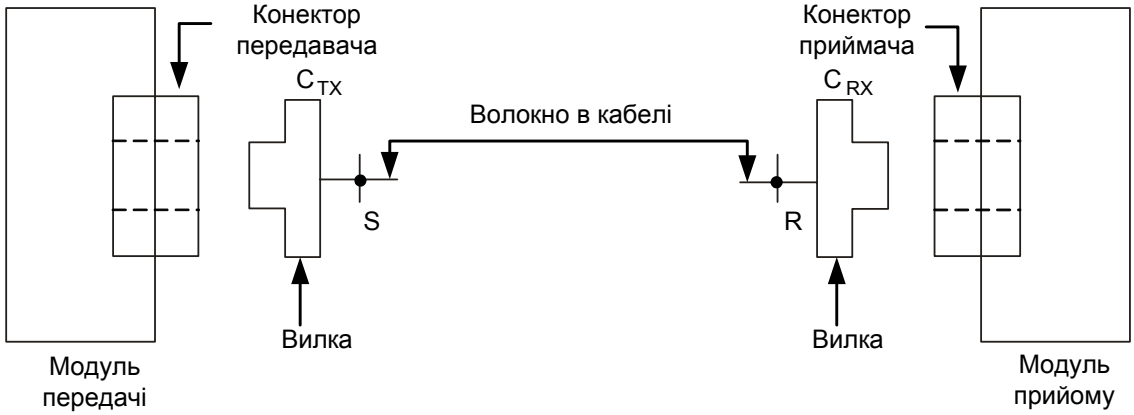
Це показано в таблиці 1/G.957 рекомендації G.957.

Таблиця 1/G.957 рекомендації G.957

Параметр		**Intra-office (I)**	**Short-haul (S)**		**Long-haul (L)**		
Довжина хвилі джерела випромінення (нм)		1310	1310	1550	1310	1550	
Тип волокна		G.652	G.652	G.652	G.652	G.652 G.654	G.653
Дистанція (км)[a)]		≤ 2	~ 15		~ 40	~ 80	
Рівень STM	STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3
	STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
[a)] Ці відстані використовуються для класифікації, а не для технічних вимог. Можливість використання оптичних параметрів цієї рекомендації щодо одноканальних систем на волокні G.655 не виключається, за умови вказання типу цього волокна в маркуванні інтерфейсу.							

В таблицях 2/G.957; 3/G.957; 4/G.957 рекомендації G.957 наведені параметри визначених у таблиці 1/G.957 оптичних інтерфейсів.

Контрольні точки дані згідно з рисунком 1/G.957 рекомендації G.957:



Таблиця 2/G.957 Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-1

Параметр	**Одиниця виміру**	**Значення параметра**									
Номінальна швидкість передавання цифрового сигналу	кбіт/с	155 520 (Структура цифрового сигналу STM-1 згідно з рекомендацією G.707)									
Тип інтерфейсу		I-1		S-1.1	S-1.2		L-1.1		L-1.2	L-1.3	
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1260[a] ÷1360		1261[a]÷ 1360	1430÷1576	1430÷1580	1263[a]÷1360		1480÷1580	1534÷1566/ 1523÷1577	1480÷ 1580
Параметри передавача в контрольній точці S											
Тип джерела випромінення		MLM	LED	MLM	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM	MLM	SLM
Спектральні характеристики:											
– максимальна RMS ширина спектра випромінення (σ)	нм	40	80	7,7	2,5	–	3	–	–	3/2,5	–
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	–	–	–	–	1	–	1	1	–	1
– мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	–	–	–	–	30	–	30	30	–	30
Рівень середньої потужності випромінення:											
– максимальний	дБм	мінус 8		мінус 8	мінус 8		0		0	0	
– мінімальний	дБм	мінус 15		мінус 15	мінус 15		мінус 5		мінус 5	мінус 5	
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		8,2	8,2		10		10	10	
Оптичний шлях між точками S і R											
Діапазон загасання [b]	дБ	0÷7		0÷12	0÷12		10÷28		10÷28	10÷28	
Максимальна дисперсія	пс/нм	18	25	96	296	NA	246	NA	NA	246/296	NA
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці S, включно з будь-якими конекторами	дБ	NA		NA	NA		NA		20	NA	
Максимальна величина дискретного відбиття між точками S та R	дБ	NA		NA	NA		NA		мінус 25	NA	

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра					
Параметри приймача в контрольній точці R							
Мінімальний рівень чутливості [b)]	дБм	мінус 23	мінус 28	мінус 28	мінус 34	мінус 34	мінус 34
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 8	мінус 8	мінус 8	мінус 10	мінус 10	мінус 10
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1	1	1	1
Максимальне відбиття від приймача виміряне в точці R	дБ	NA	NA	NA	NA	мінус 25	NA

[a)] Деякі організації потребують граничного значення 1270 нм.
[b)] Дивись пункт 6 рекомендації G.957.
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
NA (Not Applicable) — не застосовується
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах
LED (Light-Emitting Diode) — світлодіод
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді

Таблиця 3/G.957 Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-4

Параметр	**Одиниця виміру**	**Значення параметра**							
Номінальна швидкість передавання цифрового сигналу	кбіт/с	622 080 (Структура цифрового сигналу STM-4 згідно рекомендації G.707)							
Тип інтерфейсу		I-4		S-4.1	S-4.2	L-4.1		L-4.2	L-4.3
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1261[a)]÷1360		1293÷1334/ 1274÷1356	1430÷1580	1300÷1325/ 1296÷1330	1280÷1335	1480÷1580	1480÷1580
Параметри передавача в контрольній точці S									
Тип джерела випромінення		MLM	LED	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM	SLM
Спектральні характеристики:									
– максимальна RMS ширина спектра випромінення (σ)	нм	14,5	35	4/2,5	–	2,0/1,7	–	–	–
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	–	–	–	1	–	1	<1[b)]	1
– мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	–	–	–	30	–	30	30	30
Рівень середньої потужності випромінення:									
– максимальний	дБм	мінус 8		мінус 8	мінус 8	+2		+2	+2
– мінімальний	дБм	мінус 15		мінус 15	мінус 15	мінус 3		мінус 3	мінус 3
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8.2		8.2	8.2	10		10	10
Оптичний шлях між точками S і R									
Діапазон загасання[c)]	дБ	0÷7		0÷12	0÷12	10÷24		10÷24	10÷24
Максимальна дисперсія	пс/нм	13	14	46/74	NA	92/109	NA	[b)]	NA
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці S, включно з будь-якими конекторами	дБ	NA		NA	24	20		24	20
Максимальна величина дискретного відбиття між точками S та R	дБ	NA		NA	мінус 27	мінус 25		мінус 27	мінус 25

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра					
Параметри приймача в контрольній точці R							
Мінімальний рівень чутливості [c)]	дБм	мінус 23	мінус 28	мінус 28	мінус 28	мінус 28	мінус 28
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 8	мінус 8	мінус 8	мінус 8	мінус 8	мінус 8
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1	1	1	1
Максимальне відбиття від приймача виміряне в точці R	дБ	NA	NA	мінус 27	мінус 14	мінус 27	мінус 14

[a)] Деякі організації потребують граничного значення 1270 нм.
[b)] Дивись пункт 6.2.2 рекомендації G.957.
[c)] Дивись пункт 6 рекомендації G.957.
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
NA (Not Applicable) — не застосовується
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах
LED (Light-Emitting Diode) — світлодіод
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді

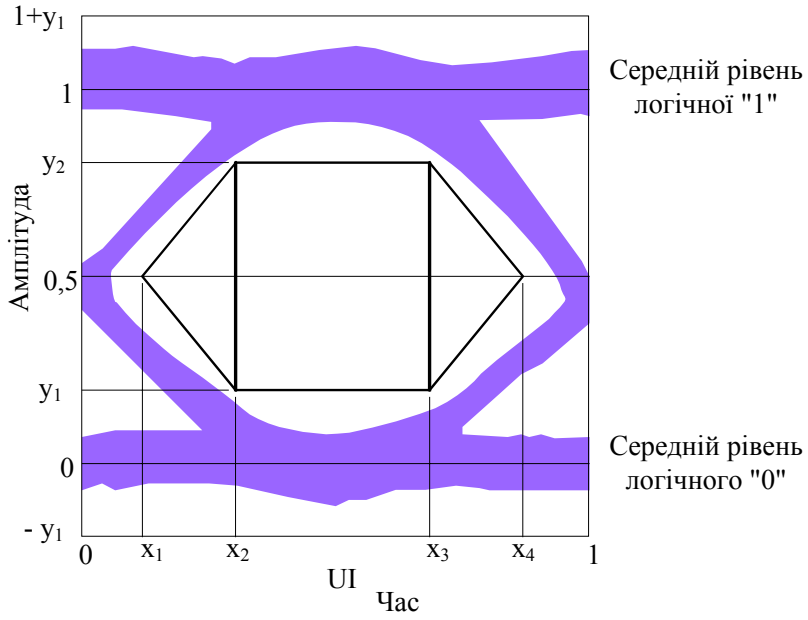
Таблиця 3/G.957 Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-16

Параметр	**Одиниця виміру**	**Значення параметра**					
Номінальна швидкість передавання цифрового сигналу	кбіт/с	2 488 320 (Структура цифрового сигналу STM-16 згідно рекомендації G.707)					
Тип інтерфейсу		I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1266a)÷1360	1260a)÷1360	1430÷1580	1280÷1335	1500÷1580	1500÷1580
Параметри передавача в контрольній точці S							
Тип джерела випромінення		MLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Спектральні характеристики:							
– максимальна RMS ширина спектра випромінення (σ)	нм	4	–	–	–	–	–
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	–	1	< 1 b)	1	< 1 b)	< 1 b)
– мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	–	30	30	30	30	30
Рівень середньої потужності випромінення:							
– максимальний	дБм	мінус 3	0	0	+3	+3	+3
– мінімальний	дБм	мінус 10	мінус 5	мінус 5	мінус 2	мінус 2	мінус 2
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
Оптичний шлях між точками S і R							
Діапазон загасання c)	дБ	0÷7	0÷12	0÷12	10÷24 e)	10÷24 e)	10÷24 e)
Максимальна дисперсія	пс/нм	12	NA	b)	NA	1200÷1600 b),d)	b)
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці S, включно з будь-якими конекторами	дБ	24	24	24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками S та R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Параметри приймача в контрольній точці R							
Мінімальний рівень чутливості c)	дБм	мінус 18	мінус 18	мінус 18	мінус 27	мінус 28	мінус 27
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 3	0	0	мінус 9	мінус 9	мінус 9
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1	1	2	1

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра					
Максимальне відбиття від приймача виміряне в точці R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

[a] Деякі організації потребують граничного значення 1270 нм.
[b] Дивись пункт 6.2.2 рекомендації G.957.
[c] Дивись пункт 6 рекомендації G.957.
[d] Вказаний діапазон дисперсії рівня відповідає розрахунку дисперсії в найгіршому випадку для 80 км відрізка волокна G.652/G.654 у всьому діапазоні довжин хвиль від 1500 до 1580 нм: виробник повинен витримувати достатні межі величини для гарантії властивостей при роботі на заданій дистанції 80 км.
[e] Виконання мінімального загасання 10 дБ замість 12 дБ вимагає зменшення максимальної потужності на виході, збільшення мінімального перенавантаження, використання оптичних атенюаторів або комбінації цих прийомів.
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
NA (Not Applicable) — не застосовується
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах
LED (Light-Emitting Diode) — світлодіод
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді

Око-діаграма зідно рисунку 2/G.957 рекомендації G.957 повинна мати наступні параметри:



Де:

Відношення параметрів	STM-1	STM-4	STM-16
x_1/x_4	0,15/0,85	0,25/0,75	
x_2/x_3	0,35/0,65	0,40/0,60	
y_1/y_2	0,20/0,80	0,20/0,80	0,25/0,75
$x_3–x_2$			0,2

У випадку STM-16, x_3 та x_2, немає необхідності рівновіддаляти відносно вертикальних осей в 0 UI і 1 UI. Межі цього зсуву знаходяться під вивченням. Розгляд частоти в системах STM-16 є складним і викликає складнощі реалізації фільтру значення параметрів для STM-16 можуть бути переглянуті за надходження нових даних та набуття досвіду.

Рекомендація G.691 (редакція від 12 – 2003):

Маркування оптичних інтерфейсів згідно з рекомендацією G.691 має такий зміст:

За дистанцією роботи:

I – (Intra-office) Внутрішньоофісні (внутрішньооб'єктові);

S – (Short-haul) Короткої дистанції;

L – (Long-haul) Великої дистанції;

V– (Very long-haul) Дуже великої дистанції;

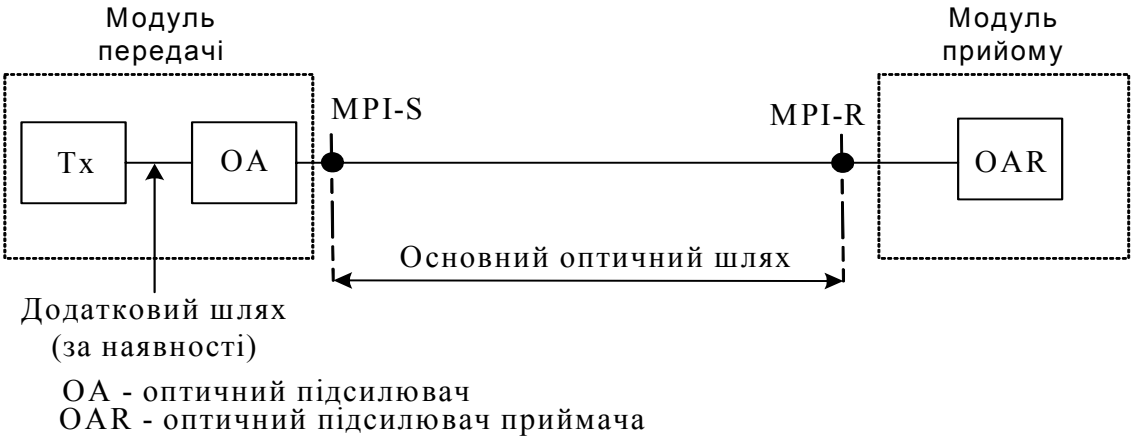
U – (Ultra long-haul) – Надвеликої дистанції.

Перша цифра після літери вказує на рівень синхронного транспортного модулю STM, друга цифра (після точки) вказує на робочу довжину хвилі та тип волокна, що використовується для даного інтерфейсу.

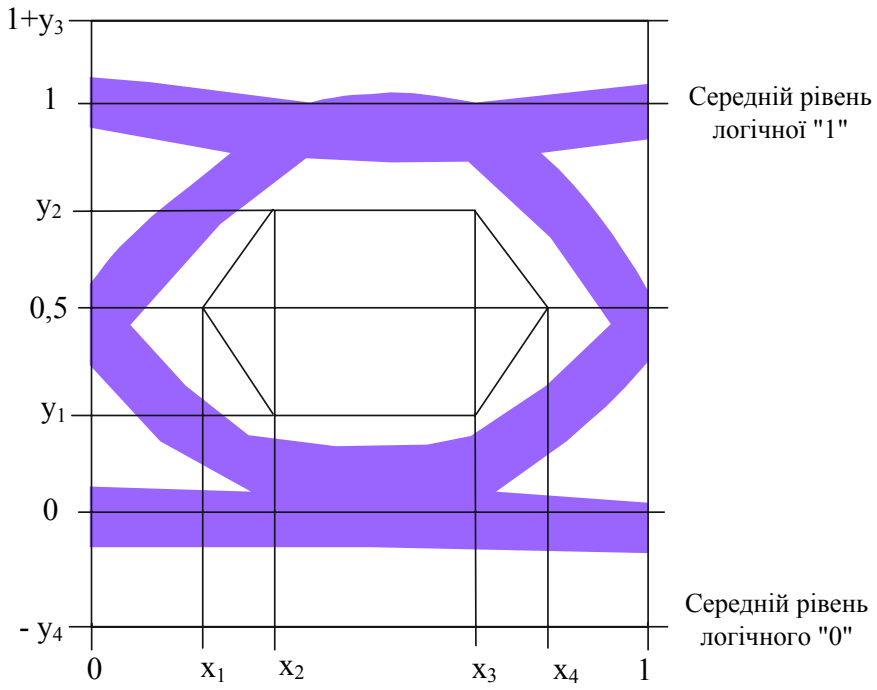
Символ "r" вказує на зменшену довжину дистанції.

Це показано в таблицях 1a/G.691; 1b/G.691 та 1c/G.691 рекомендації G.691.

Еталонні точки визначаються згідно з рисунком 1/G.691 рекомендації G.691:



Око-діаграма відповідно рисунка 2/G.691 рекомендації G.691 повинна мати наступні параметри:



Відношення параметрів	STM-4	STM-16	STM-64 (a,c) (Зауваження 2, 3)	STM-64 (b) Зауваження 2, 4)	STM-64 IM eye mask (DST)	STM-64 FM/IM eye mask (DST)
x_1/x_4	0,25/0,75	–	ffs	–	–	–
x_2/x_3	0,40/0,60	–	ffs	–	–	–
$x_3–x_2$	–	0,2	ffs	0,2	0,2	0,2
y_1/y_2	0,20/0,80	0,25/0,75	ffs	Δ+0,25/Δ+0,75 with Δ variable мінус 0,25<Δ<+0,25	0,3/0,6	0,3/0,6
y_3/y_4	0,20/0,20	0,25/0,25	ffs	0,25/0,25		

Зауваження 1 – У випадку STM-16 та STM-64, x2 та x3 відсутня необхідність рівновіддаляти відносно вертикальних осей 0 UI та 1 UI. Межі цих відхилень вивчаються. Відносно частот, розглянутих для систем STM-16 та STM-64, виходячи із складності при створенні такого фільтру (дивись додаток А), значення параметра для STM-16 та STM-64 можуть бути переглянуті з набуттям нового досвіду.

Зауваження 2 – Посилання a, b, c за технологією компенсації дисперсії використовують для інтерфейсів, визначених в таблицях 5c та 5d.

Зауваження 3 – Включно L-64.2a, L-64.2c, та V-64.2a.

Зауваження 4 – включно L-64.2b, L-64.3, V-64.2b та V-64.3.

ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення.

FM (Frequency Modulation) – Частотна модуляція.

IM (Intensity Modulation) – Модуляція інтенсивності.

Таблиця 1a/G.691 рекомендації G.691

Довжина хвилі джерела випромінення (нм)	1310	1310	1550	1550	1550	1550
Тип волокна	G.652	G.652	G.652	G.652	G.653	G.655
Дистанція (км)	0.6	2	2	25	25	25
STM-64	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
Параметри наведені у	G.693	G.693	G.693	G.959.1	G.959.1	G.959.1
Тип коду	VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5
Зауваження 1 – Ці відстані використовуються для класіфікації, а не для технічних вимог. Зауваження 2 – Інтерфейси I, S та L для STM-1, -4 та -16 наведені в рекомендації G.957.						

Таблиця 1b/G.691 рекомендації G.691

Довжина хвилі джерела випромінення (нм)	1310	1550	1550	1550	1310	1550	1550
Тип волокна	G.652	G.652	G.653	G.655	G.652	G.652	G.653
Дистанція (км)	20	40	40	40	40	80	80
STM-64	S-64.1	S-64.2	S-64.3	S-64.5	L-64.1	L-64.2	L-64.3
Параметри наведені у	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	Table 5c	Table 5c
Тип коду	P1S1-2D1	P1S1-2D2	P1S1-2D3	P1S1-2D5	P1L1-2D1		
Зауваження 1 – Ці відстані використовуються для класіфікації, а не для технічних вимог. Зауваження 2 – Інтерфейси I, S та L для STM-1, -4 та -16 наведені в рекомендації G.957.							

Таблиця 1c/G.691 рекомендації G.691

Довжина хвилі джерела випромінення (нм)]	1310	1550	1550	1550	1550
Тип волокна	G.652	G.652	G.653	G.652	G.653
Дистанція (км)	60	120	120	160	160
STM-1	–	–	–	–	–
STM-4	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
STM-16	–	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
Дистанція (км)	60	120	120		
STM-64	–	V-64.2	V-64.3	–	–
Зауваження 1 – Ці відстані використовуються для класіфікації, а не для технічних вимог.					

В таблицях 3/G.691; 4/G.691; 5/G.691; III/G.691 рекомендації G.691 наведені параметри визначених у таблицях 1a/G.691 та 1b/G.691 оптичних інтерфейсів.

Таблиця 3/G.691 – Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-4

Параметр	**Одиниця виміру**	**Значення параметра**				
Тип інтерфейсу		V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
		(1)	(2)	(2)	(3)	(3)
Параметри передавача в контрольній точці MPI-S						
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1290÷ 1330	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565
Рівень середньої потужності випромінення:						
– максимальний	дБм	4	4	4	15	15
– мінімальний	дБм	0	0	0	12	12
Спектральні характеристики:						
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
– чірп параметр*, α	рад	NA	NA	NA	NA	NA
– максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
– мінімальне значення SMSR	дБ	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт гасіння	дБ	10	10	10	10	10
Оптичний шлях між точками MPI-S та MPI-R						
Діапазон загасання						
– максимальний	дБ	33	33	33	44	44
– мінімальний	дБ	22	22	22	33	33
Хроматична дисперсія:						
– максимальна	пс/нм	200	2400	400	3200	530
– мінімальна	пс/нм	NA	NA	NA	NA	NA
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	480	480	480	480	480
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ	24	24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R						
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1\cdot10^{-12}$)	дБм	мінус 34	мінус 34	мінус 34	мінус 34	мінус 33
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 18	мінус 18	мінус 18	мінус 18	мінус 18
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1	2	1
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра
Зауваження 1 – така відстань досягається лише за умови втрат у волокні, включно з втратами на з'єднаннях та втратами в кабелі, не більше ніж 0,55 дБ/км Зауваження 2 – Згідно з пропозиціями пункту 8.4, G.957 передавач та приймач з підсилювачем потужності надають подібні параметри системи. Зауваження 3 – Оптичний підсилювач використовується для т. з. U-16.x або V-64.x систем, де може застосовуватись замість оптичних підсилювачів потужності. Така система може мати деяке зниження рівня загасання. SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення. NA (Not Applicable) — не застосовується * чірп параметр визначається формулою $\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2 \cdot P} \cdot \frac{dP}{dt}}; рад$, (де P – потужність сигналу; φ – фаза оптичного сигналу), рекомендації щодо вимірювання цього параметра наведені у рекомендації G.691 в додатку IV		

Таблиця 4/G.691 – Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-16

Параметр	**Одиниця виміру**	**Значення параметра**			
Тип інтерфейсу		V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
		(1, 2)	(1, 2)		
Параметри передавачі MPI-S					
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565
Рівень середньої потужності випромінення:					
– максимальний	дБм	13	13	15	15
– мінімальний	дБм	10	10	12	12
Спектральні характеристики:					
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	ffs	ffs	ffs	ffs
– чірп параметр*, α	рад	ffs	ffs	ffs	ffs
– максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц	ffs	ffs	ffs	ffs
– мінімальне значення SMSR	дБ	ffs	ffs	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2	10	10
Оптичний шлях між точками MPI-S та MPI-R					
Діапазон загасання					
– максимальний	дБ	33	33	44	44
– мінімальний	дБ	22	22	33	33
Хроматична дисперсія:					
– максимальна	пс/нм	2400	400	3200	530
– мінімальна	пс/нм	NA	NA	NA	NA
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120	120	120
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ	24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R					
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1\cdot10^{-12}$)	дБм	мінус 25	мінус 24	мінус 34	мінус 33
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 9	мінус 9	мінус 18	мінус 18
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	2	1	2	1
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра
Зауваження 1 – Оптичний підсилювач використовується для т. з. U-16.x або V-64.x систем, де може застосовуватись замість оптичних підсилювачів потужності. Така система може мати деяке зниження рівня загасання. Зауваження 2 – Згідно пропозицій пункту 8.4, передавач G.957 та приймач з підсилювачем потужності надають подібні параметри системи. SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення. NA (Not Applicable) – не застосовується * чірп параметр визначається формулою $\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2 \cdot P} \cdot \frac{dP}{dt}}; рад$, (де P – потужність сигналу; φ – фаза оптичного сигналу), рекомендації щодо вимірювання цього параметра наведені у рекомендації G.691 в додатку IV		

Таблиця 5a/G.691 – Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-64

Параметр	**Одиниця виміру**	**Значення параметра**					
Тип інтерфейсу		I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
Параметри передавача в контрольній точці MPI-S		Параметри наведені у рекомендації G.693 під кодом VSR600-2R1	Параметри наведені у рекомендації G.693 під кодом VSR2000-2R1	Параметри наведені у рекомендації G.693 під кодом VSR2000-2L2	Параметри наведені у рекомендації G.693 під кодом P1I1-2D2	Параметри наведені у рекомендації G.693 під кодом P1I1-2D3	Параметри наведені у рекомендації G.693 під кодом P1I1-2D5
Тип джерела випромінення							
Границі діапазону робочої хвилі	нм						
Рівень середньої потужності випромінення:							
– максимальний	дБм						
– мінімальний	дБм						
Спектральні характеристики:							
– максимальна RMS ширина спектра випромінення (σ)	нм						
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм						
– чірп параметр*, α	рад						
– максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц						
– мінімальне значення SMSR	дБ						
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ						
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R							
Діапазон загасання							
– максимальний	дБ						
– мінімальний	дБ						
Хроматична дисперсія:							
– максимальна	пс/нм						
– мінімальна	пс/нм						
Пасивна компенсація дисперсії:							
– максимальна	пс/нм						
– мінімальна	пс/нм						
Максимальна діференціальна групова затримка	пс						
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ						

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра					
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ						
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R							
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1\cdot10^{-12}$)	дБм						
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм						
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ						
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ						

Зауваження – Всі інтерфейси в цій таблиці використовують лазери на одній поздовжній моді як джерела випромінення, виключенням є I-64.1r, де використовується лазер на багатьох поздовжніх модах.
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
NA (Not Applicable) — не застосовується
SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди
ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення.
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді

***** чірп параметр визначається формулою $\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2\cdot P}\cdot\frac{dP}{dt}}; рад$, (де P – потужність сигналу;

φ – фаза оптичного сигналу), рекомендації щодо вимірювання цього параметра наведені у рекомендації G.691 в додатку IV

Таблиця 5b/G.691 – Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-64

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра						
Тип інтерфейсу		S-64.1	S-64.2a	S-64.2b	S-64.3a	S-64.3b	S-64.5a	S-64.5b
Параметри передавача в контрольній точці MPI-S		Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1S1-2D1	Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1S1-2D2a	Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1S1-2D2b	Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1S1-2D3a	Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1S1-2D3b	Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1S1-2D5a	Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1S1-2D5b
Границі діапазону робочої хвилі	нм							
Рівень середньої потужності випромінення:								
– максимальний	дБм							
– мінімальний	дБм							
Спектральні характеристики:								
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм							
– чірп параметр*, α	рад							
– максимальна спектральна щільність потужності	мВт/МГц							
– мінімальне значення SMSR	дБ							
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ							
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R								
Діапазон загасання								
– максимальний	дБ							
– мінімальний	дБ							
Хроматична дисперсія:								
– максимальна	пс/нм							
– мінімальна	пс/нм							
Пасивна компенсація дисперсії:								
– максимальна	пс/нм							
– мінімальна	пс/нм							
Максимальна діференціальна групова затримка	пс							
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ							

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра						
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ							
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R								
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1\cdot10^{-12}$)	дБм							
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм							
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ							
Максимальне відбиття від приймача виміряне в точці MPI-R	дБ							
Зауваження – S-64.2a, 3a, та 5a мають рівні передавачів, що відповідають приймачам APD; S-64.2b, 3b, та 5b мають рівні передавачів, що відповідають примачам PIN. NA (Not Applicable) — не застосовується SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення. ***** чірп параметр визначається формулою $\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2\cdot P}\cdot\frac{dP}{dt}}; рад$, (де P – потужність сигналу; φ – фаза оптичного сигналу), рекомендації щодо вимірювання цього параметра наведені у рекомендації G.691 в додатку IV								

Таблиця 5c/G.691 – Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-64

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра				
Тип інтерфейсу		L-64.1	L-64.2a	L-64.2b	L-64.2c	L-64.3
		(1, 2)		(1)	(1)	
Параметри передавачі MPI-S		Параметри наведені у рекомендації G.959.1 під кодом P1L1-2D1				
Границі діапазону робочої хвилі	нм		1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565
Рівень середньої потужності випромінення:						
– максимальний	дБм		+2	13	+2	13
– мінімальний	дБм		мінус 2	10	мінус 2	10
Спектральні характеристики:						
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм		ffs	ffs	ffs	ffs
– чірп параметр*, α	рад		ffs	ffs	ffs	ffs

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра				
– максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц		ffs	ffs	ffs	ffs
– мінімальне значення SMSR	дБ		ffs	ffs	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ		10	8,2	10	8,2
Оптичний шлях між точками MPI-S та MPI-R						
Діапазон загасання						
– максимальний	дБ		22	22	22	22
– мінімальний	дБ		11	16	11	16
Хроматична дисперсія:						
– максимальна	пс/нм		1600	1600	1600	260
– мінімальна	пс/нм		ffs	ffs	ffs	NA
Пасивна компенсація дисперсії:						
– максимальна	пс/нм		ffs	NA	NA	NA
– мінімальна	пс/нм		ffs	NA	NA	NA
Максимальна діференціальна групова затримка	пс		30	30	30	30
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ		24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ		мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R						
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1 \cdot 10^{-12}$)	дБм		мінус 26	мінус 14	мінус 26	мінус 13
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм		мінус 9	мінус 3	мінус 9	мінус 3
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ		2	2	2	1
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ		мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра
Зауваження 1 – L-64.2a використовують PDC як DA, L-64.2b використовує SPM як DA, та L-64.2c використовує prechirp (стискання імпульсу, з використанням лінійну частотну модуляцію) як DA. Зауваження 2 – Дивись п.8.3.2 для визначення значень та місця положення PDC. NA (Not Applicable) — не застосовується SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення. * чірп параметр визначається формулою $\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2 \cdot P} \cdot \frac{dP}{dt}}; рад$, (де P – потужність сигналу; φ – фаза оптичного сигналу), рекомендації щодо вимірювання цього параметра наведені у рекомендації G.691 в додатку IV		

Таблиця 5d/G.691 – Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів рівня STM-64

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра		
Тип інтерфейсу		V-64.2a	V-64.2b	V-64.3
		(1, 2)	(2)	
Параметри передавачі MPI-S				
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565
Рівень середньої потужності випромінення:				
– максимальний	дБм	13	15	13
– мінімальний	дБм	10	12	10
Спектральні характеристики:				
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	ffs	ffs	ffs
– чірп параметр*, α	рад	ffs	ffs	ffs
– максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц	ffs	ffs	ffs
– мінімальне значення SMSR	дБ	ffs	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	10	8,2	8,2
Оптичний шлях між точками MPI-S та MPI-R				
Діапазон загасання				
– максимальний	дБ	33	33	33
– мінімальний	дБ	22	22	22
Хроматична дисперсія:				
– максимальна	пс/нм	2400	2400	400
– мінімальна	пс/нм	ffs	ffs	NA
Пасивна компенсація дисперсії:				
– максимальна	пс/нм	ffs	ffs	NA
– мінімальна	пс/нм	ffs	ffs	NA
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	30	30	30
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R				

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра		
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1 \cdot 10^{-12}$)	дБм	мінус 25	мінус 23	мінус 24
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 9	мінус 7	мінус 9
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	2	2	1
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27
ЗАУВАЖЕННЯ 1 – Дивись п.8.3.2 для визначення значень та місця положення PDC. ЗАУВАЖЕННЯ 2 – V-64.2a використовує PDC як DA та V-64.2b використовує комбінацію SPM та PDC як DA.				

Таблиця III.4/G.691 – Значення параметрів для STM-64 оптичних інтерфейсів з використанням DST

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра		
Тип інтерфейсу		DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
Параметри передавачі MPI-S				
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1530÷1565	1530÷1565	1530÷1565
Рівень середньої потужності випромінення:				
– максимальний	дБм	3	13	17
– мінімальний	дБм	0	10	14
Спектральні характеристики:				
– максимальний чірп параметр*, α	rad	3,5	3,5	3,5
– максимальна частотна девіація	ГГц	8	8	6
– мнімальна частотна девіація	ГГц	7	7	5
– максимальна спектральна щільність потужності	мВ/МГц	0,02	0,02	0,02
– мінімальне значення SMSR	дБ	35	35	35
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	3	3	2
Оптичний шлях між точками MPI-S та MPI-R				
Діапазон загасання				
– максимальний	дБ	22	22	33
– мінімальний	дБ	11	16	22
Хроматична дисперсія:				
– максимальна	пс/нм	1600	1600	2400
– мінімальна	пс/нм	800	800	1600
Пасивна компенсація дисперсії:				
– максимальна	пс/нм	NA	NA	NA
– мінімальна	пс/нм	NA	NA	NA
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	30	30	30
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R				
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 24	мінус 14	мінус 21

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра		
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 8	мінус 3	мінус 5
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	2	2	2
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27
SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди * чірп параметр визначається формулою $\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2 \cdot P} \cdot \frac{dP}{dt}}; рад$, (де P – потужність сигналу; φ – фаза оптичного сигналу), рекомендації щодо вимірювання цього параметра наведені у рекомендації G.691 в додатку IV				

Рекомендація G.693 (редакція від 01 – 2005):

Маркування оптичних інтерфейсів згідно з рекомендацією G.693 має такий зміст:

W-yAz

Тут:

W – вказує дистанцію VSR600, VSR1000 та VSR2000, відповідно 0,6 км; 1 км; та 2 км.

y – вказує клас оптичного трибутарного сигналу:

- 2 для NRZ 10 Гбіт/с;
- 3 для NRZ 40 Гбіт/с.

A – вказує на категорію за величиною загасання:

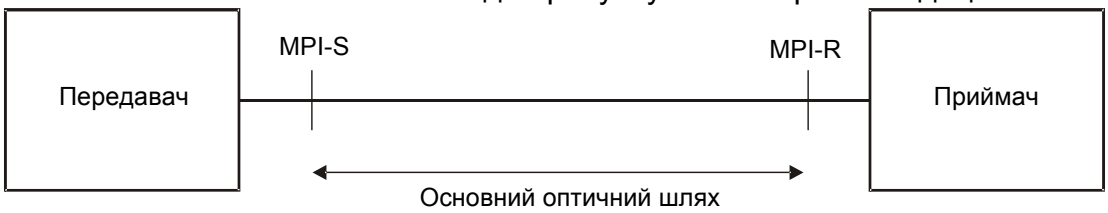
- R для максимального загасання – 4 дБ;
- L для максимального загасання – 6 дБ;
- M для максимального загасання – 12 дБ;
- H для максимального загасання – 16 дБ;
- V для максимального загасання – ffs дБ.

z – вказує на номінальну частоту та тип волокна:

- 1 для 1310 нм та волокна G.652;
- 2 для 1550 нм та волокна G.652;
- 3 для 1550 нм та волокна G.653;
- 5 для 1550 нм та волокна G.655.

Це показано в таблицях 1/G.693 та 2/G.693 рекомендації G.693.

Еталонні точки визначаються згідно рисунку 1/G.691 рекомендації G.691:



(Основний оптичний шлях включає волокно та з'єднувачі, також може включати інші пасивні оптичні компоненти, наприклад фотонні крос-конектори.)

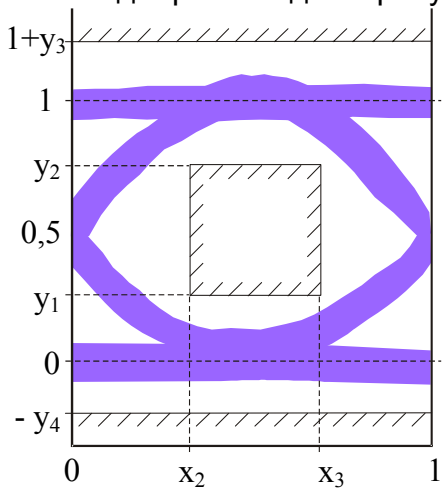
Таблиця 1/G.693 Класифікація оптичних інтерфейсів для дистанції 0,6 км

Дистанція[a)]	0,6 км		
Категорія за загасанням[a)]	R	M	
Номінальна довжина хвилі випромінення (нм)	1310	1310	1550
Тип волокна	G.652	G.652	G.652 G.653 G.655
Коди для оптичного сигналу NRZ 10Гбіт/с	VSR600-2R1	VSR600-2M1	VSR600-2M2 VSR600-2M3 VSR600-2M5
Коди для оптичного сигналу NRZ 40Гбіт/с	–	–	–
[a)] Ці відстані та категорії загасання даються для класифікації, а не для специфікації.			

Таблиця 2/G.693 Класифікація оптичних інтерфейсів для дистанції 2 км

Дистанція[a)]	2 км					
Категорія за загасанням[a)]	R		L	M		H
Номінальна довжина хвилі випромінення (нм)	1310	1550	1550	1310	1550	1550
Тип волокна	G.652	G.652 G.653 G.655	G.652 G.653 G.655	G.652	G.652 G.653 G.655	G.652 G.653 G.655
Коди для оптичного сигналу NRZ 10Гбіт/с	VSR2000-2R1	–	VSR2000-2L2 VSR2000-2L3 VSR2000-2L5	–	–	–
Коди для оптичного сигналу NRZ 40Гбіт/с	VSR2000-3R1	VSR2000-3R2 VSR2000-3R3 VSR2000-3R5		VSR2000-3M1	VSR2000-3M2 VSR2000-3M3 VSR2000-3M5	VSR2000-3H2 VSR2000-3H3 VSR2000-3H5
[a)] Ці відстані та категорії загасання даються для класифікації, а не для специфікації.						

Око-діаграма згідно з рисунком 2/G.693 рекомендації G.693 повинна мати наступні параметри:



Відношення параметрів	NRZ 10 Гбіт/с область 1310 нм	NRZ 10 Гбіт/с область 1550 нм	NRZ 40 Гбіт/с
x_3-x_2	0,2	0,2	0,2
y_1	0,25	0,25	0,25
y_2	0,75	0,75	0,75
y_3	0,4	0,25	0,25
y_4	0,25	0,25	0,25
Зауваження – x_2 та x_3 прямокутної маски ока не обов'язково повинні бути рівновіддалені від вертикальних осей 0 UI та 1 UI.			

В таблицях 3/G.693; 4/G.693 рекомендації G.693 наведені параметри визначених у таблицях 1/G.693 та 2/G.693 оптичних інтерфейсів.

Таблиця 3/G.693 – Оптичні параметри інтерфейсів для дистанції 0,6 км

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра		
Тип інтерфейсу		VSR600-2R1	VSR600-2M1	VSR600-2M2 VSR600-2M3 VSR600-2M5
Дистанція	м	600	600	600
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G
Тип оптичного волокна	–	G.652	G.652	G.652 G.653 G.655
Параметри передавачі MPI-S				
Тип джерела випромінення		MLM	MLM	SLM
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1260÷1360	1260÷1360	1530÷1565
Максимальний рівень вихідної потужності випромінення	дБм	мінус 1	+5	+2
Мінімальний рівень вихідної потужності випромінення	дБм	мінус 6	+2	мінус 1
Спектральні характеристики:				
– максимальна RMS ширина спектра випромінення (σ)	нм	3	3	NA
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	NA	NA	ffs
– мінімальне значення SMSR	дБ	NA	NA	30
Мінімальний коефіцієнт гасіння	дБ	6	6	8,2
Оптичний шлях між точками MPI-S та MPI-R				
Максимальне загасання	дБ	4	12	12
Мінімальне загасання	дБ	0	6[a)]	3[a)]
Максимальна хроматична дисперсія[b)]	пс/нм	3,8	3,8	12 для G.652[c)] 2 для G.653 6 для G.655
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	30	30	30
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ	14	14	14
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Поляризаційно залежні втрати	дБ	ffs	ffs	ffs
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R				
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1\cdot10^{-12}$)	дБм	мінус 11	мінус 11	мінус 14
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 1	мінус 1	мінус 1
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ	мінус 14	мінус 14	мінус 14

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра
[a)] Таке значення мінімального загасання дуже не бажане. Значення 0 дБ бажане і повинно узгоджуватись зі старою технологією. [b)] У випадку наявності пасивних оптичних пристроїв до основного оптичного шляху додається додаткова хроматична дисперсія, що зменшує досяжну довжину ділянки лінії. Навпаки, інтерфейси з високими допусками на хроматичну дисперсію можуть використовуватись для подолання цього обмеження. [c)] Такі інтерфейси можуть бути використані також і на волокнах G.653 та G.655. RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення.		

Таблиця 4/G.693 – Оптичні параметри інтерфейсів для дистанції 2 км

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра						
Тип інтерфейсу		VSR2000-2R1	VSR2000-2L2 VSR2000-2L3 VSR2000-2L5	VSR2000-3R1[e)]	VSR2000-3R2[f)] VSR2000-3R3[e)] VSR2000-3R5[e)]	VSR2000-3M1	VSR2000-3M2 VSR2000-3M3 VSR2000-3M5	VSR2000-3H2 VSR2000-3H3 VSR2000-3H5
Тип інтерфейсу за G.691		I-64.1	I-64.2r – –					
Тип інтерфейсу за G.959.1		P1I1-2D1	P1I1-2D2r					
Дистанція	км	2	2	2	2	2	2	2
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G
Тип оптичного волокна	–	G.652	G.652 G.653 G.655	G.652	G.652 G.653 G.655	G.652	G.652 G.653 G.655	G.652 G.653 G.655
Параметри передавачі MPI-S								
Тип джерела випромінення		SLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1290÷1330	1530÷1565	1290÷1330	1530÷1565	1290÷1330	1530÷1565	1530÷1565
Максимальний рівень вихідної потужності випромінення	дБм	мінус 1	мінус 1	+3	+3	+10	+3	+3
Мінімальний рівень вихідної потужності випромінення	дБм	мінус 6	мінус 5	0	0	+8	0	0
Спектральні характеристики:								
– максимальна RMS ширина спектра випромінення (σ)	нм	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
– максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	1	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
– мінімальне значення SMSR	дБ	30	30	35	35	35	35	35

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра						
Мінімальний коефіцієнт гасіння	дБ	6	8,2	8,2	8,2	8,2	7	7
Оптичний шлях між точками MPI-S та MPI-R								
Максимальне загасання	дБ	4	6	4	4	12	12	16
Мінімальне загасання	дБ	0	0	0	0	8[a)]	3[a)]	3
Максимальна хроматична дисперсія[b)]	пс/нм	6,6	40	6,6	40 для G.652[c)]) 6,6 для G.653 20 для G.655	6,6	40 для G.652[c)]) 6,6 для G.653 20 для G.655	40 для G.652[c)]) 6,6 для G.653 20 для G.655
Максимальна диференціальна групова затримка	пс	30	30	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S, включно з будь-якими конекторами	дБ	14	24	24	24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Поляризаційно залежні втрати	дБ	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R								
Мінімальний рівень чутливості (за умови BER=$1\cdot10^{-12}$)	дБм	мінус 11	мінус 13	мінус 5	мінус 6 для G.652 мінус 5 для G.653 мінус 5 для G.655	мінус 5	мінус 14 для G.652 мінус 13 для G.653 мінус 13 для G.655	мінус 18 для G.652 мінус 17 для G.653 мінус 17 для G.655
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 1	мінус 1	+3	+3	+2	0	0

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра						
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	2	1[d)]	2[d)] для G.652 1[d)] для G.653 1[d)] для G.655	1[d)]	2[d)] для G.652 1[d)] для G.653 1[d)] для G.655	2[d)] для G.652 1[d)] для G.653 1[d)] для G.655
Максимальне відбиття від приймача, виміряне в точці MPI-R	дБ	мінус 14	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

[a)] Таке значення мінімального загасання дуже не бажане. Значення 0 дБ бажане і повинно узгоджуватись зі старою технологією.
[b)] У випадку наявності пасивних оптичних пристроїв до основного оптичного шляху додається додаткова хроматична дисперсія, що зменшує досяжну довжину ділянки лінії. Навпаки, інтерфейси з високими допусками на хроматичну дисперсію можуть використовуватись для подолання цього обмеження.
[c)] Такі інтерфейси можуть бути використані також і на волокнах G.653 та G.655.
[d)] Цей метод використовується для визначення штрафу за оптичний шлях, він вивчається (ffs).
[e)] Приймач у відповідності до цих інтерфейсів потрібен для роботи в будь-яких застосованих кодах VSR2000-3R1, VSR2000-3R3 або VSR2000-3R5. Як мінімум, при роботі в діапазоні довжин хвиль 1290 нм÷1330 нм так само як в діапазоні 1530 нм÷1565 нм.
[f)] Приймач у відповідності до цих інтерфейсів потрібен для роботи в будь-яких застосованих кодах VSR2000-3R3 або VSR2000-3R5. Він також буде працювати за умови коду VSR2000-3R1, якщо його робочий діапазон довжин хвиль потребує 1290 нм÷1330 нм.
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
NA (Not Applicable) — не застосовується
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді
SMSR (Side Mode Suppression Ratio) – коефіцієнт пригнічення бічної моди
ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення.

Можливі відмінності між параметрами еквівалентних кодів інтерфейсів, визначених рекомендаціях G.691; G.693 та G.959.1, наведені в таблицях III.1/G.693; III.2/G.693; III.3/G.693 рекомендації G.693:

Таблиця III.1/G.693 – Відмінність між параметрами визначеними як VSR600-2R1 (G.693), P1I1-2D1r (G.959.1) та I-64.1r (G.691)

Тип інтерфейсу /Рекомендація	Одиниця виміру	VSR600-2R1 /G.693	P1I1-2D1r /G.959.1	I-64.1r /G.691
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1268÷1360	1260÷1360	1260÷1360

Таблиця III.2/G.693 – Відмінність між параметрами визначеними як VSR2000-2R1 (G.693) та P1I1-2D1 (G.959.1)

Тип інтерфейсу /Рекомендація	Одиниця виміру	VSR2000-2R1 /G.693	P1I1-2D1 /G.959.1
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	6,6	NA

Таблиця III.3/G.693 – Відмінність між параметрами визначеними як VSR2000-2L2 (G.693), P1I1-2D2r (G.959.1) та I-64.2r (G.691)

Тип інтерфейсу /Рекомендація	Одиниця виміру	VSR2000-2L2 /G.693	P1I1-2D2r /G.959.1	I-64.2r /G.691
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1530÷1565	1500÷1580	(так само як у G.693)
Максимальне загасання	дБ	6	7	7
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 13	мінус 14	мінус 14

Рекомендація G.959.1 (редакція від 12 – 2003):

Маркування оптичних інтерфейсів згідно з рекомендацією G.691 має такий зміст:

PnWx-ytz

Де:

P – Вказує на “сукупність” кодів, що відносяться до IrDI. Сукупність кодів до будь-якого оптичного сигналу в межах певного класу

n – цифра, що вказує максимальне число каналів

W – літера, що вказує на довжину сегменту, дистанцію/загасання, таку як:

- **I** – внутрішньоофісні (до дільниці з загасанням 7 дБ);
- **S** – короткої дистанції (до дільниці з загасанням 11 дБ);
- **L** – довгої дистанції (до дільниці з загасанням 22 дБ);
- **V** – дуже довгої дистанції (до дільниці з загасанням 33 дБ).

x – цифра, що вказує максимальне число сегментів, дозволених в цьому класі кодів

y – цифра, що вказує на найвищий клас оптичного сигналу:

- **1** – NRZ 2,5 Гбіт/с;
- **2** – NRZ 10 Гбіт/с;
- **3** – NRZ 40 Гбіт/с;
- **4** – RZ 40 Гбіт/с.

(В додатку V рекомендації G.959.1 пояснюється, як це застосовується)

t – літера, що вказує на конфігурацію використання оптичних підсилювачів:

- **A** – використовується один оптичний підсилювач, як підсилювач потужності на початку сегменту, другий оптичний підсилювач в якості попереднього підсилювача потужності в кінці сегменту;
- **B** – використовується лише підсилювач потужності;
- **C** – використовується лише попередній підсилювач;
- **D** – підсилювачі не використовуються.

z – цифра, що вказує довжину хвилі випромінювання на тип оптичного волокна:

- **1** – номінальна довжина хвилі 1310 нм на волокні G.652;
- **2** – номінальна довжина хвилі 1550 нм на волокні G.652;
- **3** – номінальна довжина хвилі 1550 нм на волокні G.653;
- **5** – номінальна довжина хвилі 1550 нм на волокні G.655.

В рекомендації G.6959.1 в даний час визначені параметри інтерфейсів IrDIs для x = 1.

При використанні двонаправлених систем перед кодом додають літеру **B**.

Для оптичних траспортних мереж це було би:

BnWx-ytz

Для декотрих типів кодів додається суфікс. П’ять суфіксів визначені наступним чином:

F – літера коду вказує, що цьому інтерфейсу потрібні FEC байти для передачі, як визначено у рекомендації ITU G.709/Y.1331.

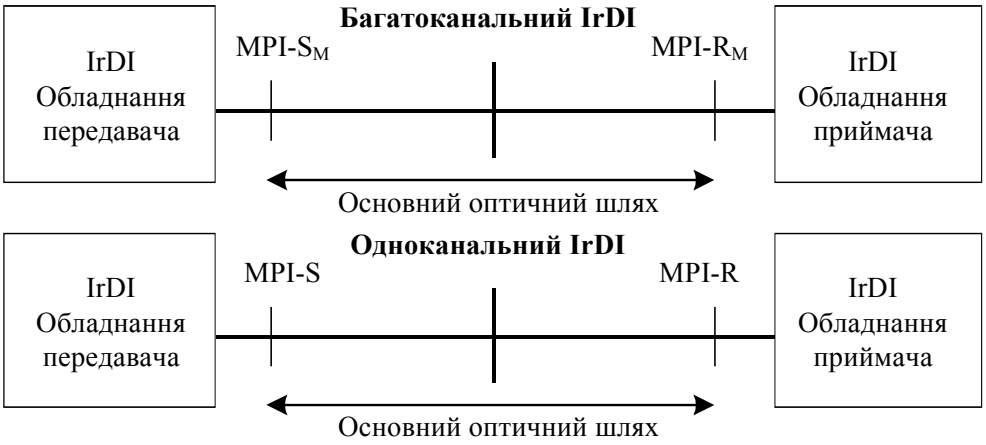
D – літера коду вказує, що такий інтерфейс потребує адаптивної компенсації дисперсії.

r – літера коду вказує на зменшену дистанцію. Такий код інтерфейсу вказує на обмеження за дисперсією. Дистанція може бути виконана також іншими технологічними рішеннями котрі вивчатимуться (наприклад, паралельний інтерфейс).

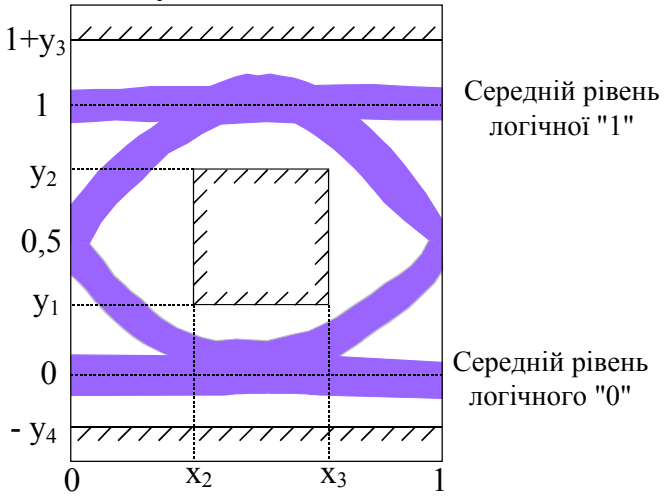
a – літера коду вказує, що рівень потужності передавача відповідає приймачу APD.

b – літера коду вказує, що рівень потужності передавача відповідає приймачу PIN.

Контрольні точки для багатоканальних та одноканальниїх IrDI згідно з G.959.1 визначаються наступним чином:

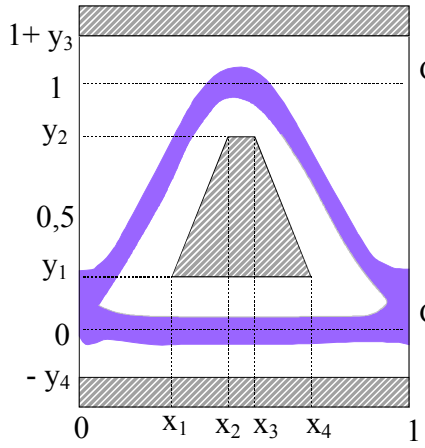


Око-діаграма для сигналу NRZ згідно з G.959.1 визначається наступним чином:



Відношення параметрів	NRZ 2.5G	NRZ 10G окіл 1310 нм	NRZ 10G окіл 1550 нм	NRZ 10G з підсилювачами	NRZ 40G
$x_3–x_2$ (Зауваження 2)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
y_1	0,25	0,25	0,25	Δ + 0,25 (Заваження 1)	0,25
y_2	0,75	0,75	0,75	Δ + 0,75 (Зауваження 1)	0,75
y_3	0,25	0,4	0,25	0,25	0,25
y_4	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Зауваження 1 – Δ змінюється в межах: мінус 0,25 < Δ < +0,.25 Зауваження 2 – x_2 та x_3 око-діаграми можуть бути не рівновіддаленими відносно вертикальної осі 0 UI та 1 UI.					

Око-діаграма для сигналу RZ згідно з G.959.1 визначається наступним чином:



Відношення параметрів	RZ 40G
$x_4–x_1$	ffs
$x_3–x_2$	ffs
y_1	ffs
y_2	ffs
y_3	ffs
y4	ffs
ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення.	

Таблиця 5-2/G.959.1 – Класифікація багатоканальних міждоменних інтерфейсів

Параметр	Внутрішньоофісні (I)			Короткої дистанції (S)		
Номінальна довжина хвилі випромінення (нм)	1550 (G.694.1 сітка частот) (Зауваження 2)			1550 (G.694.1 сітка частот) (Зауваження 2)		
Тип оптичного волокна	G.652	G.653	G.655	G.652	G.653	G.655
Дистанція (км) (Зауваження 1)	20	2	20	40	40	40
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	–	–	–	P16S1-1D2	–	P16S1-1D5
Клас оптичного сигналу NRZ 10G	P16I1-2D2	P16I1-2D3	P16I1-2D5	P16S1-2B2 P16S1-2C2	P16S1-2C3	P16S1-2B5 P16S1-2C5
Зауваження 1 – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікаціїї. Зауваження 2 – Дивись таблицю 8-1.						

Таблиця 5-3/G.959.1 – Класифікація одноканальних інтерфейсів для класу оптичного сигналу NRZ 2.5G та NRZ 10G

Параметр	**Внутрішньоофісні (I)**						**Короткої дистанції (S)**				**Довгої дистанції (L)**	
Номінальна довжина хвилі випромінення (нм)	1310		1550				1310	1550			1310	1550
Тип оптичного волокна	G.652		G.652		G.653	G.655	G.652	G.652	G.653	G.655	G.652	G.652, G.653, G.655
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	–	P1I1-1D1	–	–	–	–	P1S1-1D1	P1S1-1D2	–	–	P1L1-1D1	–
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 2,5G (км) (Зауваження)	–	2	ffs	ffs	ffs	ffs	15	15	15	ffs	40	80
Параметри наведені в	–	Таблиця 8-2	–	–	–	–	Таблиця 8-2	Таблиця 8-2	–	–	Таблиця 8-2	–
Клас оптичного сигналу NRZ 10G	P1I1-2D1r	P1I1-2D1	P1I1-2D2r	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5	P1S1-2D1	P1S1-2D2	P1S1-2D3	P1S1-2D5	P1L1-2D1	P1L1-2D2
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 10G (км) (Зауваження)	0.6	2	2	25	25	25	20	40	40	ffs	40	80
Параметри наведені в	G.693	G.693	G.693	Таблиця 8-3	Таблиця 8-3	Таблиця 8-3	Таблиця 8-4	Таблиця 8-4	Таблиця 8-4	Таблиця 8-4	Таблиця 8-5	Таблиця 8-5
Як код	VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2									
Зауваження – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікації. ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення.												

Таблиця 5-4/G.959.1 – ласифікація одноканальних інтерфейсів для класу оптичного сигналу NRZ 40G та RZ 40G

Параметр	**Внутрішньоофісні (I)**				**Короткої дистанції (S)**				**Довгої дистанції (L)**			
Номінальна довжина хвиі випромінення (нм)	1310	1550			1310	1550			1310	1550		
Тип оптичного волокна	G.652	G.652	G.653	G.655	G.652	G.652	G.653	G.655	G.652	G.652	G.653	G.655
Клас оптичного сигналу NRZ 40G	–	–	–	–	–	P1S1-3C2	P1S1-3C3	P1S1-3C5	–	P1L1-3A2 1L1-3C2F 1L1-3C2FD	P1L1-3A3 1L1-3C3F 1L1-3C3FD	P1L1-3A5 1L1-3C5F 1L1-3C5FD
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 40G (км) (Зауваження)	–	–	–	–	–	40	40	40	–	80	80	80
Параметри наведені в	–	–	–	–	–	Таблиця 8-6	Таблиця 8-6	Таблиця 8-6	–	Таблиця 8-6	Таблиця 8-6	Таблиця 8-6
Клас оптичного сигналу RZ 40G	–	–	–	–	–	–	–	–	–	P1L1-7A2	P1L1-7A3	P1L1-7A5
Дистанція для класу оптичного сигналу RZ 40G (км) (Зауваження)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	80	80	80
Параметри наведені в	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Таблиця VI.1	Таблиця VI.1	Таблиця VI.1
Зауваження – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікації.												

Таблиця 8-1/G.959.1 – Фізичний рівень параметрів та значення для багатоканальних IrDI інтерфейсів

Параметр (Зауваження 1)	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**			
		P16S1-1D2 P16S1-1D5	**P16I1-2D2 P16I1-2D3 (Зауваження 2) P16I1-2D5**	**P16S1-2B2 P16S1-2B5**	**P16S1-2C2 P16S1-2C3 P16S1-2C5**
Максимальне число каналів	–	16	16	16	16
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	NRZ 2.5G	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	–	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	–	G.652, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.655	G.652, G.653, G.655
Інтерфейс в точці MPI-SM					
Максимальний рівень вихідної канальної потужності	дБм	мінус 4	мінус 3	+3	мінус 7
Мінімальний рівень вихідної канальної потужності	дБм	мінус 10	мінус 6	0	мінус 11
Максимальний рівень повної вихідної потужності	дБм	+8	+9	+15	+5
Центральна частота	ТГц	192,1 + 0,2 m, m = 0 до 15	192,1 + 0,2 m, m = 0 до 15	192,1 + 0,2 m, m = 0 до 15	192,1 + 0,2 m, m = 0 до 15
Канальний інтервал	ГГц	200	200	200	200
Максимальне відхилення центральної частоти	ГГц	40	40	40	40
Мінімальний канальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Око-діаграма	–	NRZ 2.5G	NRZ 10G з підсилюванням	NRZ 10G з підсилюванням	NRZ 10G з підсилюванням
Оптичний шлях (одноканальна ділянка) між точками MPI-SM та MPI-RM					
Максимальне загасання	дБ	11	6 (Зауваження 2)	11	11
Мінімальне загасання	дБ	2	0	0	0
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	800	400	800	800
Мінімальні оптичні зворотні втрати в точці MPI-SM	дБ	24	24	24	24

Параметр (Зауваження 1)	Одиниця виміру	Код інтерфейсу			
		P16S1-1D2 P16S1-1D5	**P16I1-2D2 P16I1-2D3 (Зауваження 2) P16I1-2D5**	**P16S1-2B2 P16S1-2B5**	**P16S1-2C2 P16S1-2C3 P16S1-2C5**
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-SM та MPI-RM	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	30	30	30
Інтерфейс в точці MPI-RM					
Максимальний рівень вхідної канальної потужності	дБм	мінус 6	мінус 3	+3	мінус 7
Мінімальний рівень вхідної канальної потужності	дБм	мінус 21	мінус 12	мінус 11	мінус 22
Максимальний рівень повної вхідної потужності	дБм	+6	+9	+15	+5
Максимальне відхилення потужності каналу	дБ	NA	NA	NA	2
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	2 для G.652, 1 для G.653 (Зауваження 2), 1 для G.655	2 для G.652, 1 для G.655	2 для G.652, 1 для G.653, 1 для G.655
Мінімальний еквівалентний рівень чутливості	дБм	мінус 22	мінус 14 для G.652, мінус 13 для G.653, мінус 13 для G.655	мінус 13 для G.652, мінус 12 для G.655	мінус 24 для G.652, мінус 23 для G.653, мінус 23 для G.655
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

Зауваження 1 – Значення параметрів в цій таблиці можуть бути змінені для майбутніх систем, що використовують лінійн підсилювачі, або у внутрішньомережних інтерфейсах (IaDIs).

Зауваження 2 Для штрафу за оптичний шлях 1 дБ, відстань передачі багатоканальних внутрішньоофісних інтерфейсів з волокном G.653 рекомендується в межах 2 км в наслідок нелінійності волокна. Якщо ця дистанція більша 2 км, додатковий штраф за оптичний шлях (додатково до штрафу в 1 дБ) повинен бути врахований.

NA (Not Applicable) — не застосовується

Таблиця 8-2/G.959.1 – Параметри одноканальних IrDI та значення для оптичних сигналів класу NRZ 2.5G

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу			
		P1I1-1D1	**P1S1-1D1**	**P1S1-1D2**	**P1L1-1D1**
	–	(Зауваження)	(Зауваження)	(Зауваження)	(Зауваження)
Максимальне число каналів	–	1	1	1	1
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	–	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	–	G.652	G.652	G.652	G.652
Інтерфейс в точці MPI-S					
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1266-1360	1260-1360	1430-1580	1280-1335
Тип джерела випромінення		MLM	SLM	SLM	SLM
Максимальна RMS ширина спектра випромінення (σ)	нм	4	NA	NA	NA
Максимум ширини спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	NA	1	<1	1
Максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц	ffs	ffs	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	NA	30	30	30
Максимальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 3	0	0	+3
Мінімальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 10	мінус 5	мінус 5	мінус 2
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Око-діаграма	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R					
Максимальне загасання	дБ	6	11	11	22
Мінімальне загасання	дБ	0	0	0	10
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	12	NA	Як у G.957 "S-16.2"	NA
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S	дБ	14	14	14	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120	120	120
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R					
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 3	0	0	мінус 9
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 17	мінус 17	мінус 17	мінус 25
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1	1

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу			
		P1I1-1D1	P1S1-1D1	P1S1-1D2	P1L1-1D1
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 14	мінус 14	мінус 14	мінус 27
Зауваження – значення параметрів для таких кодів в значній мірі ґрунтується на рекомендації ITU G.957. RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується ffs (For Further Study) – для подальшого вивчення. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді					

Таблиця 8-3/G.959.1 – Параметри одноканальних IrDI та значення для оптичних сигналів класу NRZ 10G для внутрішньоофісної дистанції

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу					
		P1I1-2D1r	P1I1-2D1	P1I1-2D2r	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5
Код відповідно до G.691		I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
Параметри наведені в		G.693	G.693	G.693			
Як код		VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2			
Максимальне число каналів	–	1	1	1	1	1	1
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–				NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	–				10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	–				G.652	G.653	G.655
Інтерфейс в точці MPI-S							
Границі діапазону робочої хвилі	нм				1500÷1580	1500÷1580	1500÷1580
Тип джерела випромінення					SLM	SLM	SLM
Максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц				ffs	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ				30	30	30
Максимальний рівень потужності випромінення	дБм				мінус 1	мінус 1	мінус 1
Мінімальний рівень потужності випромінення	дБм				мінус 5	мінус 5	мінус 5

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу					
		P1I1-2D 1r	**P1I1-2D 1**	**P1I1-2D 2r**	**P1I1-2D 2**	**P1I1-2D 3**	**P1I1-2D 5**
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ				8,2	8,2	8,2
Око-діаграма	–				NRZ 10G окіл 1550 нм	NRZ 10G окіл 1550 нм	NRZ 10G окіл 1550 нм
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R							
Максимальне загасання	дБ				7	7	7
Мінімальне загасання	дБ				0	0	0
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм				500	80	ffs
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S	дБ				24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ				мінус 27	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс				30	30	30
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R							
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм				мінус 1	мінус 1	мінус 1
Мінімальний рівень чутливості	дБм				мінус 14	мінус 13	мінус 13
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ				2	1	2
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ				мінус 27	мінус 27	мінус 27
NA (Not Applicable) — не застосовується ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді.							

Таблиця 8-4/G.959.1 – Параметри одноканальних IrDI та значення для оптичних сигналів класу NRZ 10G для короткої дистанції

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу				
		P1S1-2D1	**P1S1-2D2a**	**P1S1-2D2b**	**P1S1-2D3a P1S1-2D5 a**	**P1S1-2D3b P1S1-2D5 b**
Код відповідно до G.691		S-64.1	S-64.2a	S-64.2b	S-64.3a S-64.5a	S-64.3b S-64.5b
Максимальне число каналів	–	1	1	1	1	1
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ 10G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	–	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	–	G.652	G.652	G.652	G.653, G.655	G.653, G.655
Інтерфейс в точці MPI-S						
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1290÷ 1330	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565	1530÷ 1565
Тип джерела випромінення	–		SLM	SLM	SLM.	SLM
Максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	30	30	30	30	30
Максимальний рівень потужності випромінення	дБм	+5	мінус 1	+2	мінус 1	+2
Мінімальний рівень потужності випромінення	дБм	+1	мінус 5	мінус 1	мінус 5	мінус 1
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	6	8,2	8,2	8,2	8,2
Око-діаграма	–	NRZ 10G окіл 1310 нм	NRZ 10G окіл 1550 нм	NRZ 10G окіл 1550 нм	NRZ 10G окіл 1550 нм	NRZ 10G окіл 1550 нм
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R						
Максимальне загасання	дБ	11	11	11	11	11
Мінімальне загасання	дБ	6	7	3	7	3
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	70	800	800	130	130
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S	дБ	14	24	24	24	24
Максимальна	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу				
		P1S1-2D1	P1S1-2D2a	P1S1-2D2b	P1S1-2D3a P1S1-2D5a	P1S1-2D3b P1S1-2D5b
величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R						
Максимальна диференціальна групова затримка	пс	30	30	30	30	30
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R						
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 1	мінус 8	мінус 1	мінус 8	мінус 1
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 11	мінус 18	мінус 14	мінус 17	мінус 13
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	2	2	1	1
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 14	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Зауваження – Коди з суфіксом “a” відповідають рівню потужності передавача, котрий відповідає APD приймачам, коди з суфіксом “b” відповідають рівню потужності передавача, котрий відповідає PIN приймачам. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді.						

Таблиця 8-5/G.959.1 – Параметри одноканальних IrDI та значення для оптичних сигналів класу NRZ 10G для довгої дистанції

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
		P1L1-2D1	P1L1-2D2
Код відповідно до G.691		L-64.1	–
Максимальне число каналів	–	1	1
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	NRZ 10G	NRZ 10G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	–	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	–	G.652	G.652
Інтерфейс в точці MPI-S			
Границі діапазону робочої хвилі	нм	1290÷1320	1530÷1565
Тип джерела випромінення	–	SLM	SLM
Максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц	ffs	ffs
Мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	30	30
Максимальний рівень потужності випромінення	дБм	+7	+4
Мінімальний рівень потужності випромінення	дБм	+3	0
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	6	9
Око-діаграма	–	NRZ 10G окіл 1310 nm	NRZ 10G окіл1550 нм

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
		P1L1-2D1	P1L1-2D2
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R			
Максимальне загасання	дБ	22	22
Мінімальне загасання	дБ	16	11
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	130	1600
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S	дБ	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	30	30
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R			
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 9	мінус 7
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 20	мінус 24
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	2
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27	мінус 27
ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді.			

Таблиця 8-6/G.959.1 – Параметри одноканальних IrDI та значення для оптичних сигналів класу NRZ 40G

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу			
		P1S1-3C2 P1S1-3C3 P1S1-3C5	**P1L1-3A2 P1L1-3A3 P1L1-3A5**	**1L1-3C2FD 1L1-3C3FD 1L1-3C5FD**	**1L1-3C2F 1L1-3C3F 1L1-3C5F**
Максимальне число каналів	–	1	1	1	1
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ OTU3	NRZ OTU3
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	–	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	–	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
Інтерфейс в точці MPI-S					
Центральна частота	ТГц	192,1	192,1	192,1	192,1
Максимальне відхилення від центральної частоти	ГГц	40	40	40	40
Тип джерела випромінення	–	SLM	SLM	SLM	SLM
Максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц				
Мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	35	35	35	35

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу			
		P1S1-3C2 P1S1-3C3 P1S1-3C5	**P1L1-3A2 P1L1-3A3 P1L1-3A5**	**1L1-3C2FD 1L1-3C3FD 1L1-3C5FD**	**1L1-3C2F 1L1-3C3F 1L1-3C5F**
Максимальний рівень потужності випромінення	дБм	+3	+8	+5	+5
Мінімальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 3	+5	+2	+2
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	10	10	10
Око-діаграма	–	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G	NRZ 40G
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R					
Максимальне загасання	дБ	11	22	22	22
Мінімальне загасання	дБ	0	11	11	11
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	800 для G.652, 140 для G.653, 400 для G.655	1600 для G.652, 280 для G.653, 800 для G.655	1600 для G.652, 280 для G.653, 800 для G.655	1600 для G.652, 280 для G.653, 800 для G.655
Максимальне відхилення хроматичної дисперсії	пс/нм	(Зауваження 2)	(Зауваження 2)	± 80	(Зауваження 2)
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S	дБ	24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Максимальна диференціальна групова затримка	пс	7.5 (Зауваження 1)	7.5 (Зауваження 1)	7.5 (Зауваження 1)	7.5 (Зауваження 1)
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R					
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	+3	мінус 3	мінус 6	мінус 6
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 17	мінус 20	мінус 22	мінус 23
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	3	3	2	3
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу			
		P1S1-3C2 **P1S1-3C3** **P1S1-3C5**	**P1L1-3A2** **P1L1-3A3** **P1L1-3A5**	**1L1-3C2FD** **1L1-3C3FD** **1L1-3C5FD**	**1L1-3C2F** **1L1-3C3F** **1L1-3C5F**
Зауваження 1 – Окремі категорії волокна G.652, G.653 та G.655 мають занадто високий коефіцієнт PMD, що не гарантує величину DGD. Зауваження 2 – Ця величина повинна узгоджуватись між виробником та користувачем системи. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді.					

Таблиця VI.1/G.959.1 – Параметри одноканальних IrDI та значення для оптичних сигналів класу RZ 40G

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу
		P1L1-7A2 **P1L1-7A3** **P1L1-7A5**
Максимальне число каналів	–	1
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	–	RZ 40G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	–	10^{-12}
Тип оптичного волокна	–	G.652, G.653, G.655
Інтерфейс в точці MPI-S		
Центральна частота	ТГц	192,1
Максимальне відхилення від центральної частоти	ГГц	40
Тип джерела випромінення	–	SLM
Максимальний робочий цикл	%	ffs
Мінімальний робочий цикл	%	ffs
Максимальна спектральна щільність потужності	мВт/10 МГц	ffs
Мінімальний коефіцієнт пригнічення бічної моди	дБ	35
Максимальний рівень потужності випромінення	дБм	+12
Мінімальний рівень потужності випромінення	дБм	+9
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	10
Око-діаграма	–	RZ 40G
Оптичний шлях між точками MPI-S і MPI-R		
Максимальне загасання	дБ	22
Мінімальне загасання	дБ	11
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	1600 для G.652, 280 для G.653 (Зауваження 1), 800 для G.655 (Зауваження 1)
Максимальне відхилення хроматичної дисперсії	пс/нм	(Зауваження 2)
Мінімальне загасання неузгодженості кабельної лінії в точці MPI-S	дБ	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S та MPI-R	дБ	мінус 27
Максимальна диференціальна групова затримка	пс	ffs
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R		
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	+1
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 16
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	3 (Зауваження 1)
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу
		P1L1-7A2 P1L1-7A3 P1L1-7A5
Зауваження 1 – Дільниці з використанням волокна G.653 або G.655 можуть показати надлишковий штраф за оптичний шлях внаслідок нелінійних ефектів, що знаходяться на вивченні точного розподілу дисперсії вздовж дільниці. Зауваження 2 – Ця величина повинна узгоджуватись між виробником та користувачем системи. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення. SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді.		

Рекомендація G.695 (редакція від 01 – 2005):

Маркування оптичних інтерфейсів згідно з рекомендацією G.695 має такий зміст:

CnWx-ytz

Де:

C – Літера, що вказує на CWDM інтерфейс;

n – цифра, що вказує максимальне число каналів, що підтримується цим кодом;

W – літера, що вказує на довжину дистанції:

- **S** – короткої дистанції;
- **L** – довгої дистанції;

x – цифра, що вказує максимальне число сегментів, дозволених в цьому класі кодів;

y – цифра, що вказує на максимальний клас оптичного сигналу:

- **1** – NRZ 1,25 Гбіт/с;
- **2** – NRZ 10 Гбіт/с;

t – літера, що вказує на конфігурацію, котру підтримує застосовуванийний код. В цій рекомендації використовується лише::

- **D** – літера, що вказує на відсутність оптичних підсилювачів;

z – цифра, що вказує на тип оптичного волокна:

2 на волокні G.652;

3 на волокні G.653;

5 на волокні G.655.

При використанні двонаправлених систем перед кодом додають літеру **B**.

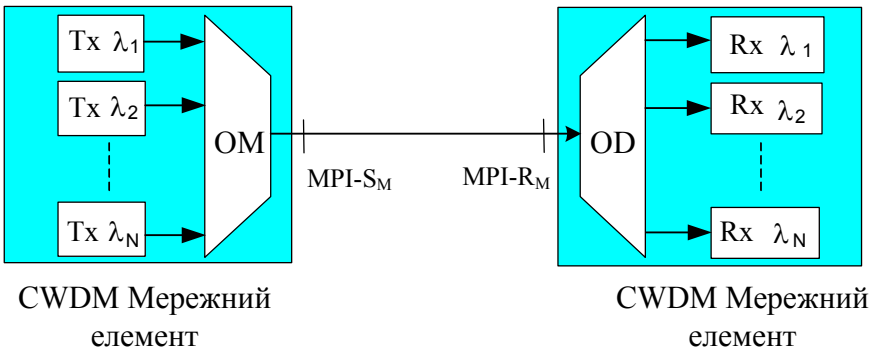
B-CnWx-ytz

Системи, що використовують підхід “чорної лінії”, мають на початку коду літеру **S**:

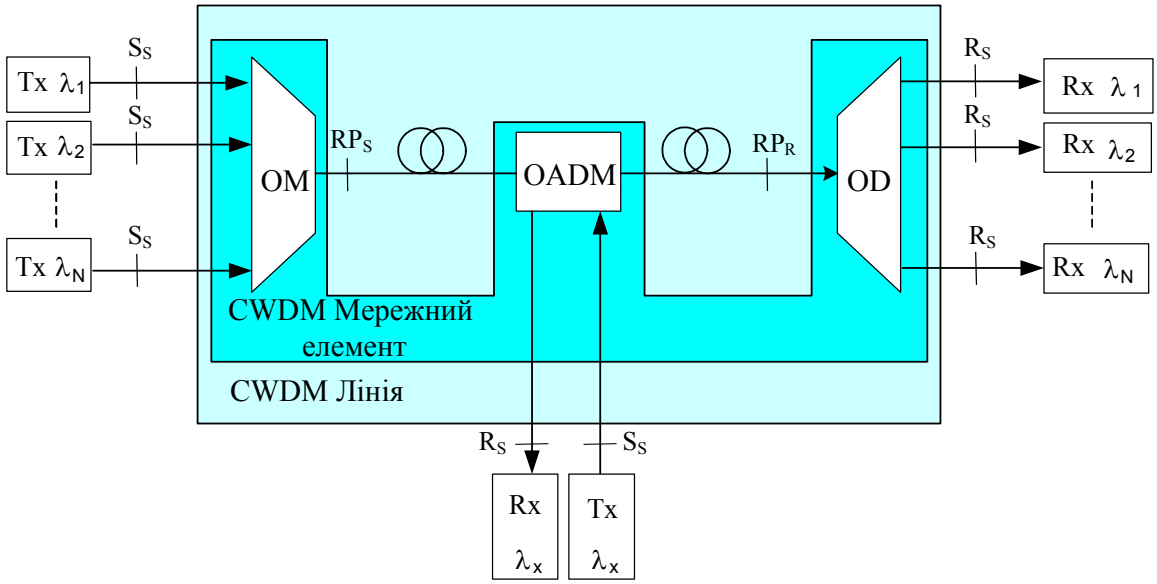
S-CnWx-ytz

Контролні точки згідно з G.695 визначаються наступним чином:

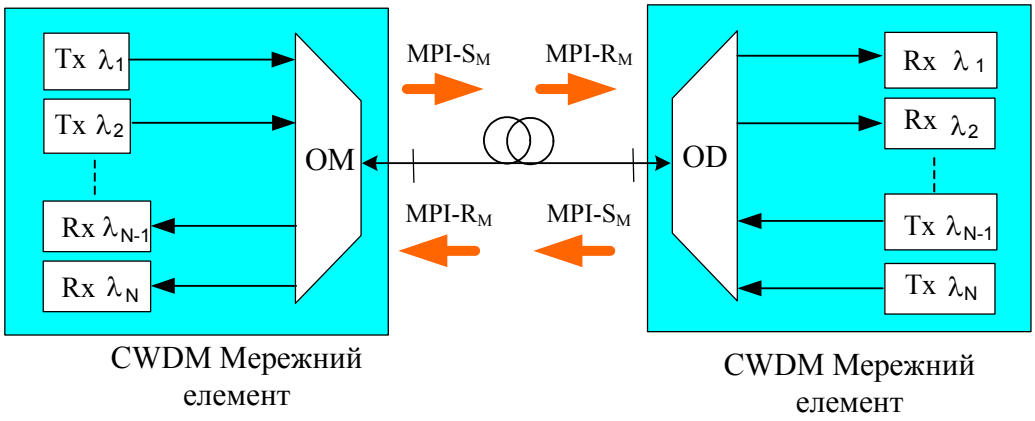
Контрольні точки за варіанту “чорний ящик”:



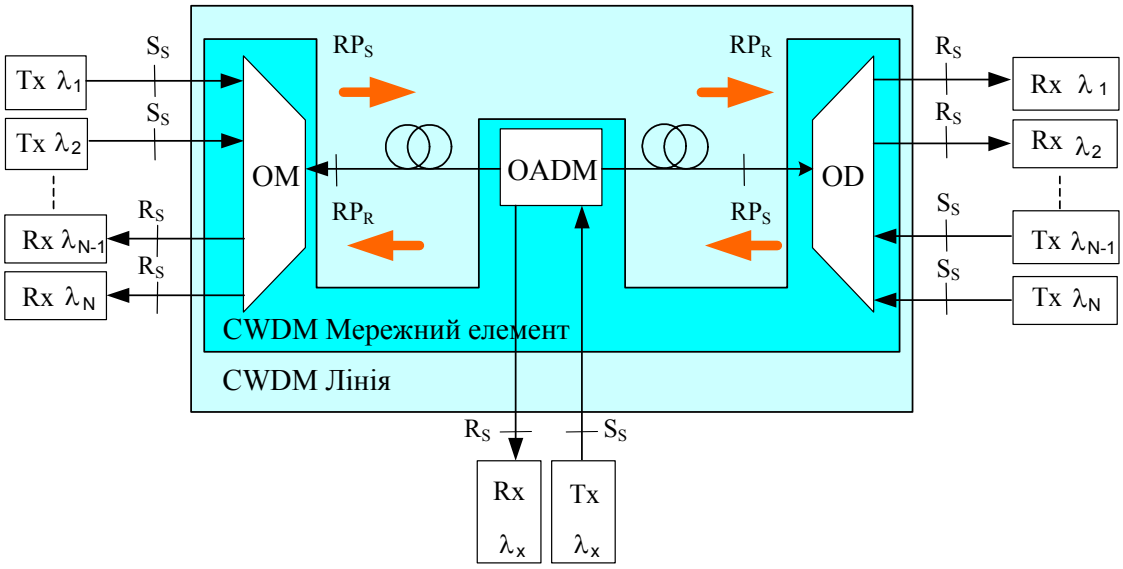
Контрольні точки за варіанту “чорна лінія”:



Контрольні точки за варіанту “чорний ящик” для двонаправлених систем:



Контрольні точки за варіанту “чорна лінія” для двонаправлених систем:



Таблиця 5-1/G.695 – Класифікація однонаправлених багатоканальних інтерфейсів для 4-канальних інтерфейсів.

Параметр	Короткої дистанції (S)			Довгої дистанції (L)		
Тип оптичного волокна	G.652	G.653	G.655	G.652	G.653	G.655
Клас оптичного сигналу NRZ 1,25G	-	-	-	-	-	-
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 1,25G (км) [a)]	-	-	-	-	-	-
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	C4S1-1D2	C4S1-1D3	C4S1-1D5	C4L1-1D2	C4L1-1D3	C4L1-1D5
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 2,5G (км) [a)]	37	37	37	69	72	72
[a)] – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікації.						

Таблиця 5-2/G.695 – Класифікація двонаправлених багатоканальних інтерфейсів для 4-канальних інтерфейсів

Параметр	Короткої дистанції (S)	Довгої дистанції (L)	
Тип оптичного волокна	G.652	G.652	G.653
Клас оптичного сигналу NRZ 1,25G	-	B-C4L1-0D2	B-C4L1-0D3
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 1,25G (км) [a)]	-	90	90
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	-	B-C4L1-1D2	B-C4L1-1D3
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 2,5G (км) [a)]	-	80	83
[a)] – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікації.			

Таблиця 5-3/G.695 – Класифікація двонаправлених багатоканальних інтерфейсів для 8-канальних інтерфейсів

Параметр	Короткої дистанції (S)	Довгої дистанції (L)	
Тип оптичного волокна	G.652	G.652	G.653
Клас оптичного сигналу NRZ 1,25G	-	B-C8L1-0D2	B-C8L1-0D3
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 1,25G (км) [a)]	-	64	64
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	C8S1-1D2 B-C8S1-1D2	C8L1-1D2 B-C8L1-1D2	B-C8L1-1D3
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 2,5G (км) [a)]	27	55	58
[a)] – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікації.			

Таблиця 5-4/G.695 – Класифікація двонаправлених багатоканальних інтерфейсів для 8-канальних інтерфейсів

Параметр	Короткої дистанції (S)	Довгої дистанції (L)	
Тип оптичного волокна	G.652	G.652	G.653
Клас оптичного сигналу NRZ 1,25G	-	B-C12L1-0D2	-
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 1,25G (км) [a)]	-	42	-
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	-	B-C12L1-1D2	-
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 2,5G (км) [a)]	-	38	-
[a)] – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікації.			

Таблиця 5-5/G.695 – Класифікація двонаправлених багатоканальних інтерфейсів для 16-канальних інтерфейсів

Параметр	Короткої дистанції (S)	Довгої дистанції (L)	
Тип оптичного волокна	G.652	G.652	G.653
Клас оптичного сигналу NRZ 1,25G	-	-	-
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 1,25G (км) [a)]	-	-	-
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	C16S1-1D2 B-C16S1-1D2	C16L1-1D2 B-C16L1-1D2	-
Дистанція для класу оптичного сигналу NRZ 2,5G (км) [a)]	20	42	-
[a)] – Ці дистанції даються для класифікації, а не для специфікації.			

Таблиця 5-6/G.695 – Класифікація багатоканальних систем з одним канальним інтерфейсом.

Параметр	Короткої дистанції (S)	Довгої дистанції (L)
Тип оптичного волокна	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
Клас оптичного сигналу NRZ 2,5G	S-C8S1-1D2, S-C8S1-1D3, S-C8S1-1D5	S-C8L1-1D2, S-C8L1-1D3, S-C8L1-1D5

Таблиця 8-1/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 4-канальних систем з короткою дистанцію, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**		
Код		C4S1-1D2	C4S1-1D3	C4S1-1D5
Максимальне число каналів	-	4		
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G		
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}		
Тип оптичного волокна	-	G.652	G.653	G.655
Інтерфейс в точці MPI-S_M				
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+4,5		
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 3		
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+10,5		
Центральна довжина хвилі	нм	1531 + 20m m від 0 до 3		
Канальний інтервал	нм	20		
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5		
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957		
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M				
Максимальне загасання	дБ	10,5		
Мінімальне загасання	дБ	4		
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	1000	200	500
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24		
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27		
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120		
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M				
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	+0,5		
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 13,5		
Максимальна повна потужність на вході	дБм	+6,5		
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1,5		
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 15		
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27		
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.				

Таблиця 8-2/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 4-канальних систем з довгою дистанцією, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**		
Код		C4L1-1D2	C4L1-1D3	C4L1-1D5
Максимальне число каналів	-	4		
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G		
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}		
Тип оптичного волокна	-	G.652	G.653	G.655
Інтерфейс в точці MPI-S_M				
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+4,5		
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 3		
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+10,5		
Центральна довжина хвилі	нм	1531 + 20m m від 0 до3		
Канальний інтервал	нм	20		
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5		
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957		
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M				
Максимальне загасання	дБ	19,5	20,5	20,5
Мінімальне загасання	дБ	13		
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	1700	350	1000
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-SM	дБ	24		
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27		
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120		
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M				
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 8,5		
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 22,5	мінус 23,5	мінус 23,5
Максимальна повна потужність на вході	дБм	мінус 2,5		
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	2,5	1,5	1,5
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 25		
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27		
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.				

Таблиця 8-3/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 4-канальних двонаправлених систем з довгою дистанцією, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**			
Код		B-C4L1-0D2	B-C4L1-0D3	B-C4L1-1D2	B-C4L1-1D3
Максимальне число каналів	-	2+2	2+2	2+2	2+2
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 1,25G		NRZ 2,5G	
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	-	G.652	G.653	G.652	G.653
Інтерфейс в точці MPI-S_M					
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+5 b)	+5 b)	+5 b)	+5 b)
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	0 b)	0 b)	0 b)	+0 b)
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+8	+8	+8	+8
Центральна довжина хвилі	нм	1531 + 20m m від 0 до3			
Канальний інтервал	нм	20	20	20	20
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження a)	нм	±6.5	±6.5	±6.5	±6.5
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Око-діаграма	-	STM-4 згідно G.957		STM-16 згідно G.957	
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-SM і MPI-RM					
Максимальне загасання	дБ	25,5	25,.5	22,5	23,5
Мінімальне загасання	дБ	12	12	12	12
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	2400	-	2000	-
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120	120	120
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M					
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 7	мінус 7	мінус 7	мінус 7
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 25,5	мінус 25,5	мінус 22,5	мінус 23,5
Максимальна повна потужність на вході	дБм	мінус 4	мінус 4	мінус 4	мінус 4
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1,5	1,5	2,5	1,5
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 27		мінус 25	
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Зауваження a) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм. Зауваження b) – Рівні потужності н передаванні цих 2+2 каналів двонанправленої системи вищі ніж для інтерфейсів цієї рекомендації, так що максимальна дистанція у 80 км є досяжною для NRZ 2.5G.					

Таблиця 8-4/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 8-канальних систем, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**		
Код		C8S1-1D2	B-C8S1-1D2	C8L1-1D2
Максимальне число каналів	-	8	4+4	8
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G	NRZ 2,5G	NRZ 2,5G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	-	G.652	G.652	G.652
Інтерфейс в точці MPI-S_M				
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+4	+4	+4
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 3,5	мінус 3,5	мінус 3,5
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+13	+10	+13
Центральна довжина хвилі	нм	1471 + 20m m від 0 до 7		
Канальний інтервал	нм	20	20	20
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5	±6,5	±6,5
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2	8,2
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957		
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M				
Максимальне загасання	дБ	9	9	18
Мінімальне загасання	дБ	3	3	12
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	800	800	1600
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120	120
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M				
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	+1	+1	мінус 8
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 12,5	мінус 12,5	мінус 21,5
Максимальна повна потужність на вході	дБм	+10	+7	+1
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1,5	1,5	2,5
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 14	мінус 14	мінус 24
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.				

Таблиця 8-5/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 8-канальних двонаправлених систем з довгою дистанцію, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**			
Код		B-C8L1-0D2	B-C8L1-0D3	B-C8L1-1D2	B-C8L1-1D3
Максимальне число каналів	-	4+4	4+4	4+4	4+4
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 1,25G	NRZ 1,25G	NRZ 2,5G	NRZ 2,5G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	-	G.652	G.653	G.652	G.653
Інтерфейс в точці MPI-S_M					
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+4	+4	+4	+4
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 3,5	мінус 3,5	мінус 3,5	мінус 3,5
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+10	+10	+10	+10
Центральна довжина хвилі	нм	1471 + 20m m від 0 до 7			
Канальний інтервал	нм	20	20	20	20
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5	±6,5	±6,5	±6,5
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Око-діаграма	-	STM-4 згідно G.957		STM-16 згідно G.957	
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M					
Максимальне загасання	дБ	21	21	18	19
Мінімальне загасання	дБ	12	12	12	12
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	2000	-	1600	-
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24	24	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120	120	120
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M					
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 8	мінус 8	мінус 8	мінус 8
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 24,5	мінус 24,5	мінус 21,5	мінус 22,5
Максимальна повна потужність на вході	дБм	мінус 2	мінус 2	мінус 2	мінус 2
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1,5	1,5	2,5	1,5
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 26	мінус 26	мінус 24	мінус 24
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27	мінус 27	мінус 27	мінус 27
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.					

Таблиця 8-6/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 12-канальних двонаправлених систем з довгою дистанцію, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**			
Код		B-C12L1-0D2		B-C12L1-1D2	
Діапазон довжин хвиль	нм	1291÷ 1351	1471÷ 1611	1291÷ 1351	1471÷ 1611
Максимальне число каналів	-	6+6		6+6	
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 1,25G		NRZ 2,5G	
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}		10^{-12}	
Тип оптичного волокна	-	G.652		G.652	
Інтерфейс в точці MPI-S_M					
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+3,5	+1.5	+3.5	. +1.5
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 4	мінус 6	мінус 4	мінус 6
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+10.7		+10.7	
Центральна довжина хвилі	нм	1291 + 20m, m від 0 до 3	1471 + 20m, m від 0 до 7	1291 + 20m, m від 0 до 3	1471 + 20m, m від 0 до 7
Канальний інтервал	нм	20		20	
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5		±6,5	
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		8,2	
Око-діаграма	-	STM-4 згідно G.957		STM-16 згідно G.957	
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M					
Максимальне загасання	дБ	20	14,7	18	13,3
Мінімальне загасання	дБ	11	7	11	7
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	310	1200	280	1100
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24		24	
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27		мінус 27	
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120		120	
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M					
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 7,5	мінус 5.5	мінус 7,5	мінус 5.5
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 24	мінус 20,7	мінус 22	мінус 19,3
Максимальна повна потужність на вході	дБм	+2.3		+2.3	

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу			
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1	1.5
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 25	мінус 21.7	мінус 23	мінус 20.8
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27		мінус 27	
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.					

Таблиця 8-7 (8-8)/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 16-канальних систем, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
Код		C16S1-1D2	C16L1-1D2
Діапазон довжин хвиль	нм	ffs	ffs
Максимальне число каналів	-	16	16
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G	NRZ 2,5G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	-	G.652.C або G.652.D	G.652.C або G.652.D
Інтерфейс в точці MPI-S_M			
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	ffs	ffs
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	ffs	ffs
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	ffs	ffs
Центральна довжина хвилі	нм	ffs	ffs
Канальний інтервал	нм	20	20
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5	±6.5
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8.2
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957	STM-16 згідно G.957
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M			
Максимальне загасання	дБ	ffs	ffs
Мінімальне загасання	дБ	ffs	ffs
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	ffs	ffs
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	ffs	ffs
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	ffs	ffs
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M			
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	ffs	ffs
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	ffs	ffs
Максимальна повна потужність на вході	дБм	ffs	ffs
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	ffs	ffs
Мінімальний рівень чутливості	дБм	ffs	ffs
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	ffs	ffs
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення			

Таблиця 8-9 (8-10)/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для 16-канальних двонаправлених систем, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
Код		B-C16S1-1D2	B-C16L1-1D2
Діапазон довжин хвиль	нм	ffs	ffs
Максимальне число каналів	-	8+8	8+8
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G	NRZ 2,5G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	-	G.652.C або G.652.D	G.652.C або G.652.D
Інтерфейс в точці MPI-S_M			
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	ffs	ffs
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	ffs	ffs
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	ffs	ffs
Центральна довжина хвилі	нм	ffs	ffs
Канальний інтервал	нм	20	20
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5	±6,5
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957	STM-16 згідно G.957
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M			
Максимальне загасання	дБ	ffs	ffs
Мінімальне загасання	дБ	ffs	ffs

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	ffs	ffs
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	ffs	ffs
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	ffs	ffs
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M			
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	ffs	ffs
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	ffs	ffs
Максимальна повна потужність на вході	дБм	ffs	ffs
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	ffs	ffs
Мінімальний рівень чутливості	дБм	ffs	ffs
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	ffs	ffs
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм. ffs (For Further Study) — для подальшого вивчення			

Таблиця 8-11/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для одноканальних інтерфейсів 8-канальних систем, що базуються на підході “чорна лінія”.

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
Код		S-C8S1-1D2 S-C8S1-1D3 S-C8S1-1D5	S-C8L1-1D2 S-C8L1-1D3 S-C8L1-1D5
Максимальне число каналів	-	8	8 [b)]
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G	NRZ 2,5G
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}	10^{-12}
Тип оптичного волокна	-	G.652, G.653 G.655	G.652, G.653 G.655
Інтерфейс в точці S_S			
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+5	+5
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	0	0
Центральна довжина хвилі	нм	1471 + 20m, m від 0 до 7	
Канальний інтервал	нм	20	20
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5	±6,5

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу	
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2	8,2
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957	
Оптичний шлях між точками S_S і R_S			
Максимальні вносимі втрати в каналі	дБ	16,5	25,5
Мінмальні вносимі втрати в каналі	дБ	5	14
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	1000	1600
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці S_S	дБ	24	24
Максимальна величина дискретного відбиття між точками S_S та R_S	дБ	мінус 27	мінус 27
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120	120
Максимальний захист від внутрішньоканальних перехідніх завад	дБ	20	20
Максимальний захист від інтерферометричних (зовнішніх) завад	дБ	45	45
Параметри приймача в контрольній точці R_S			
Максимальний рівень вхідної потужності	дБм	0	мінус 9
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 18	мінус 28
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1,5	2,5
Максимальне відбиття від приймача	дБ	мінус 27	мінус 27
Зауваження a) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм. Зауваження b) – 1471 нм канали можуть не бути придатними для волокна G.655, котре має максимальну довжину хвилі зрізу 1480 нм.			

Таблиця IV.1/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для багатоканальних інтерфейсів 16-канальних систем, з кодом C16S1-1D2, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу		
Код		C16S1-1D2		
Діапазон довжин хвиль	нм	1311÷1371	1391÷1451	1471÷1611
Максимальне число каналів	-	16		
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G		
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}		
Тип оптичного волокна	-	G.652.C або G.652.D		
Інтерфейс в точці MPI-S_M				
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+3,5	+2,5	+1
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 4	мінус 5	мінус 6,5
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+14,2		

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу		
Центральна довжина хвилі	нм	1311 + 20m m від 0 до 3	1391 + 20m, m від 0 до 3	1471 + 20m, m від 0 до 7
Канальний інтервал	нм	20		
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження a)	нм	±6,5		
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957		
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M				
Максимальне загасання	дБ	8,5	7,5	6,5
Мінімальне загасання	дБ	3,5	2,5	0,5
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	160	300	510
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24		
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27		
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120		
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M				
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	0	0	+0,5
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 12,5	мінус 12,5	мінус 13
Максимальна повна потужність на вході	дБм	+12,3		
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 13,5	мінус 13,5	мінус 14
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27		
Зауваження a) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.				

Таблиця IV.2/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для багатоканальних інтерфейсів 16-канальних систем, з кодом C16L1-1D2, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу		
Код		C16L1-1D2		
Діапазон довжин хвиль	нм	1311÷1371	1391÷1451	1471÷1611
Максимальне число каналів	-	16		
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G		

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу		
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}		
Тип оптичного волокна	-	G.652.C або G.652.D		
Інтерфейс в точці MPI-S_M				
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+3,5	+1,5	мінус 0,5
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 4	мінус 6	мінус 8
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+13,4		
Центральна довжина хвилі	нм	1311 + 20m m від 0 до 3	1391 + 20m m від 0 до 3	1471 + 20m m від 0 до 7
Канальний інтервал	нм	20		
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5		
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957		
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M				
Максимальне загасання	дБ	18	15,8	13,3
Мінімальне загасання	дБ	11	9	7
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	350	650	1100
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24		
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27		
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120		
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M				
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 7,5		
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 22	мінус 21,8	мінус 21,3
Максимальна повна потужність на вході	дБм	+4,5		
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1,5	2
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 23	мінус 23,3	мінус 23,3
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27		
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.				

Таблиця IV.3/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для двонаправлених багатоканальних інтерфейсів 16-канальних систем, з кодом B-C16S1-1D2, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	**Одиниця виміру**	**Код інтерфейсу**		
Код		B-C16S1-1D2		
Діапазон довжин хвиль	нм	1311÷1371	1391÷1451	1471÷1611
Максимальне число каналів	-	8+8		
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G		
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}		
Тип оптичного волокна	-	G.652.C or G.652.D		
Інтерфейс в точці MPI-S_M				
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+3,5	+2	+1
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 4	мінус 5	мінус 6,5
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+11.8		
Центральна довжина хвилі	нм	1311 + 20mm від 0 до 3	1391 + 20mm від 0 до 3	1471 + 20mm від 0 до 7
Канальний інтервал	нм	20		
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження a)	нм	±6,5		
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957		
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M				
Максимальне загасання	дБ	8,5	7,5	6,3
Мінімальне загасання	дБ	3,5	2,5	0,5
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	160	300	510
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24		
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27		
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120		
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M				
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	0	мінус 0,5	+0,5
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 12,5	мінус 12,5	мінус 12,8
Максимальна повна потужність на вході	дБм	+9,5		
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1	1

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу		
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 13,5	мінус 13,5	мінус 13,8
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27		
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.				

Таблиця IV.4/G.695 – Фізичний рівень параметрів та значення для двонаправлених багатоканальних інтерфейсів 16-канальних систем, з кодом B-C16L1-1D2, що базуються на підході “чорний ящик”.

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу		
Код		B-C16L1-1D2		
Діапазон довжин хвиль	нм	1311÷1371	1391÷1451	1471÷1611
Максимальне число каналів	-	8+8		
Код оптичного сигналу та лінійна швидкість	-	NRZ 2,5G		
Максимальний коефіцієнт помилок за бітами	-	10^{-12}		
Тип оптичного волокна	-	G.652.C або G.652.D		
Інтерфейс в точці MPI-S_M				
Максимальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	+3,5	+1,5	мінус 0,5
Мінімальний канальний рівень потужності випромінення	дБм	мінус 4	мінус 6	мінус 8
Максимальна повна потужність випромінення на виході	дБм	+11,6		
Центральна довжина хвилі	нм	1311 + 20mm від 0 до 3	1391 + 20mm від 0 до 3	1471 + 20mm від 0 до 7
Канальний інтервал	нм	20		
Максимальне відхилення від центральної довжини хвилі (Зауваження а)	нм	±6,5		
Мінімальний коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	8,2		
Око-діаграма	-	STM-16 згідно G.957		
Оптичний шлях (одноканальниа ділянка) між точками MPI-S_M і MPI-R_M				
Максимальне загасання	дБ	18	15,8	13,3
Мінімальне загасання	дБ	11	9	7
Максимальна хроматична дисперсія	пс/нм	350	650	1100
Мінімальне загасання неузгодженності кабельної лінії в точці MPI-S_M	дБ	24		
Максимальна величина дискретного відбиття між точками MPI-S_M та MPI-R_M	дБ	мінус 27		
Максимальна діференціальна групова затримка	пс	120		

Параметр	Одиниця виміру	Код інтерфейсу		
Параметри приймача в контрольній точці MPI-R_M				
Максимальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 7,5		
Мінімальний канальний рівень вхідної потужності	дБм	мінус 22	мінус 21,8	мінус 21,3
Максимальна повна потужність на вході	дБм	+1.5		
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1	1,5	2
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 23	мінус 23.3	мінус 23,3
Максимальний коефіцієнт відбиття від оптичного елемента мережі	дБ	мінус 27		
Зауваження а) – Система з коливанням центральної довжини хвилі на ±7 нм, котра відповідає всім іншим параметрам G.695 кодів, одночасно сумісна з іншими інтерфейсами, що використовують той самий код, вважається, що це не потребує інженерної перевірки перехресної сумісності систем з ±6.5 нм.				

§6.4 Деякі методи цифрового кодування

NRZ - Non Return to Zero (без повернення до нуля)

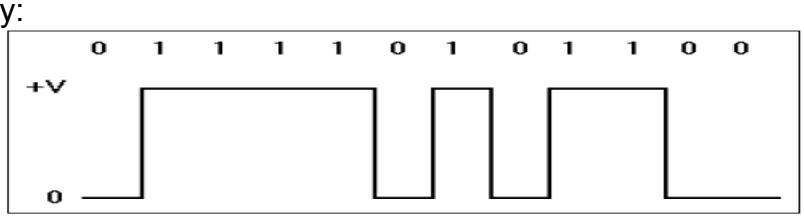
В такому варіанті кодування використовується наступне представлення бітів:

Біти “0“ передаються нульовою напругою (0 В). Біти «1» передаються напругою +V.

Цей метод кодування є найбільш простим і є базовим для побудови більш досконалих алгоритмів кодування.

Кодуванню за методом NRZ притаманний цілий ряд недоліків (високий рівень постійної напруги, широкий спектр сигналу та інші.)

Загальний вид двійкового ряду, представленого в коді NRZ, показано на рисунку:



RZ - Return to Zero (повернення до нуля)

В такому варіанті кодування використовується наступне представлення бітів:

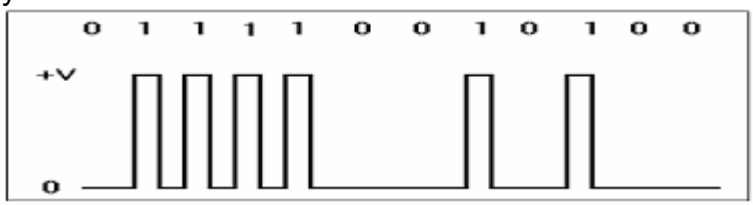
Біти “0“ передаються нульовою напругою (0 В). Біти «1» передаються напругою +V в першій частині та нульовою напругою у другій частині часового інтервалу.

Порівняно з попереднім методом цей метод має переваги:

- середня напруга в лінії є вдвічі меншою
- за умови передачі безперервної послідовності «1» сигнал в лінії не залишається постійним.

Однак ширина спектра сигналу є більшою ніж у NRZ

Загальний вид двійкового ряду, представленого в коді RZ, показано на рисунку:



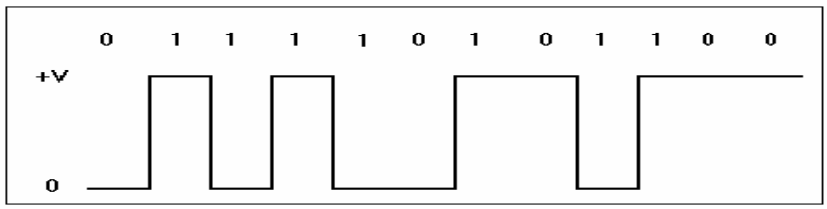
NRZ I - Non Return to Zero Invertive (інверсне кодування без повернення до нуля)

Цей метод кодування використовує наступне представлення бітів:

Біти “0“ передаються нульовою напругою (0 В). Біти «1» передаються нульовою напругою (0 В) або напругою +V в залежності від того, яка напруга була в попереднього біта. Якщо напруга попереднього біта була (0 В), то .одиниця буде представлена напругою +V, якщо напруга попереднього біта була +V, то одиниця буде представлена напругою (0 В).

Перевага цього коду полягатиме в тому, що ширина спектру сигналу буде як у NRZ, а за умови передачі безперервної послідовності «1» сигнал в лінії не залишається постійним.

Загальний вид двійкового ряду, представленого в коді NRZ I, показано на рисунку:



Словник іншомовних скорочень

APD (Avalanche Photodiode) — Лавинні фотодіоди
ATM (Asynchronous Transfer Mode) — Асинхронний режим переносу
ASE (Amplified Spontaneous Emission) — Підсилена самовільна емісія
AWG (Array Waveguide Grating) — Матрична хвильоводна ґратка
BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами
CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) — Нещільне спектральне розділення каналів
DA (Dispersion Accommodation) — Вирівнювання за дисперсією
DCF (dispersion compensating fiber) — Волокна компенсуючі дисперсію
DGD (Differential Group Delay) — Диференційна групова затримка.
DSF (Dispersion-shifted Single-mode Fiber) — Волокно із зсунутою дисперсією
DST (Dispersion Supported Transmission) — Передача з підтримкою дисперсії (на визначеному рівні)
DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) — Щільне спектральне розділення каналів
EDFA (Erbium-Doped Fibre Amplifier) — Оптичний підсилювач на волокні, легованому ербієм
EIA (Electronics Industries Alliance) — Альянс Електронної промисловості
ESNR (Electrical Signal-to-Noise Ratio) — Електричне відношення сигнал/шум
ESR (Errored Second Ratio) — Коефіцієнт секунд з помилками
Ethernet — Інтерфейс взаємодії, побудований за стандартом IEEE 802.x
FEC (Forward Error Correction) — Система із зворотньо вирішувальним звязком для попередньої корекції помилок
FBG (fiber Bragg grating) — Хвилеводні брегівські ґратки
FFS (For Further Study) — Для подальшого вивчення
FM (Frequency Modulation) — Частотна модуляція
FWM (Four-Wave Mixing) — Чотирихвильове змішування
GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) — Комутація за узагальненими мультипротокольними мітками
HDWDM (High Dense Wawelength Division Multiplexing) — Системи з високощільним спектральним розділенням каналів
IaDI (Intra-Domain Interface) — Внутрішньо-обласний інтерфейс (інтерфейс в межах області (частини) мережі)
IEC (International Electrotechnical Commission) — Міжнародна Електротехнічна Комісія
IM (Intensity Modulation) – Модуляція інтенсивності.
IP (Interworking Protocol) — Протокол взаємодії
IrDI (Inter-Domain Interface) — Міжобласний інтерфейс (інтерфейс між областями (частинами) мережи)
ISO (International Organization for Standardization) — Міжнародна Організація зі Стандартизації
ITU (International Telecommunications Union) — Міжнародний союз телекомунікацій
LED (Light-Emitting Diode) — світлодіод
MEMS (Micro-Electromechanical Systems) — Мікро-електромеханічна система
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах
MMF (Multi-Mode Fiber) — Багатомодове оптичне волокно
MPLS (Multiprotocol Label Switching) — Комутація за мультипротокольними мітками
NA (Not Applicable) — не застосовується
NF (Noise Figure) — Шум-фактор
NRZ (Non Return to Zero) — без повернення до нуля
NRZ I (Non Return to Zero Invertive) — інверсне кодування без повернення до нуля
NZDSF (Non-Zero Dispersion-shifted Single-mode Fiber) — Волокно з ненульовою та зсунутою дисперсією
OADM (Optical add drop Multiplexer) — Оптичний мультиплексор введення/виведення

ORR (Optical Rejection Ratio) — Коефіцієнт оптичного відхилення
OSA (Optical Spectrum Analyzer) — Оптичний аналізатор спектра
OSC (Optical Supervisory Channel) — Оптичний контрольний канал
OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio) — Оптичне відношення сигнал/шум
OTN (Optical Transport Networking) — Оптична транспортна мережа
PC (Phisical Contact) — Фізичний контакт
PDC (Passive Dispersion Compensator) — Пасивний компенсатор дисперсії
PDG (Polarization Dependent Gain) — Поляризаційно-залежні зміни коефіцієнта підсилення
PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) — Плезіохронна (майже синхронна) цифрова ієрархія
PDL (Polarization Dependent Losses) — Втрати, що залежать від поляризації
PIN (P type-intrinsic-n type) — фотодіод з переходом P-n типу
PMD (Polarisation Mode Dispersion) — Поляризаційна дисперсія моди
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
RZ (Return to Zero) — повернення до нуля
Sba (specified by application) — визначається інтерфейсом, для котрого застосовується.
SBS (Stimulated Brillouin Scattering) — Вимушене розсіювання Бріллюена
SDH (Synchronous Digital Hierarchy) — Синхронна цифрова ієрархія
SESR (Severely Errored Second Ratio) — Коефіцієнт секунд зі значними помилками
SF (Standard Fiber) — Волокно без зсунутої дисперсії
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді
SMF (Single-Mode Fiber) — Одномодове оптичне волокно
SMSR (Side Mode Suppression Ratio) — коефіцієнт пригнічення бічної моди
SOP (State of Polarization) — Стан поляризації
SPM (Self Phase Modulation) — Самомодуляція фази
SRS (Stimulated Raman Scattering) — Вимушене розсіювання Рамана
STM (Synchronous Transport Module) — Синхронний транспортний модуль
TIA (Telecommunication Industry Association) — Асоціація виробників засобів зв’язку
TDM (Time Division Multiplexing) — Системи з часовим розділенням каналів
UI (unit interval) — одиничний інтервал
WDM (Wavelength Division Multiplexing) — Спектральне розділення каналів
WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing) — Широке (більше 200 нм) спектральне розділення каналів.
XPM (Cross-Phase Modulation) — Перехресна фазова модуляція

Питання для самоконтролю.

1) Що таке показник заломлення?
2) Що побачила би людина невидимка?
3) Від чого залежить показник заломлення?
4) Що таке числова апертура?
5) Як впливає з'єднання оптичних волокон на величину втрат?
6) В чому сутність технологій TDM та WDM?
7) В чому сутність технологій DWDM та CWDM?
8) Які основні елементи входять до структури WDM системи?
9) В чому суть роботи оптичного підсилювача?
10) Які типи оптичних підсилювачів застосовуються в сучасних WDM системах?
11) На які типи поділються всі оптичні волокна?
12) Які параметри впливають на ефективність роботи WDM систем?
13) Для чого потрібен оптичний моніторинг WDM систем?
14) За допомогою якого вимірювального обладнання здійснюється контроль параметрів WDM систем?

Література

1. Рекомендації ITU
2. Стандарти IEC
3. Стандарти IEEE
4. Стандарти EIA/TIA
5. ДСТУ та ГСТУ України
6. Н. И. Кошкин, М. И. Ширкевич. Справочник по элементарной физике. М. Наука, 1976.
7. Оптика и связь: Опт. Передача и обработка информации. Пер. с фр./ А. Кочанне, Ж. Лере, Г. Мэтр, М. Руссо – М.: Мир, 1984.
8. А. Н. Матвеев Оптика. – М. в.ш. 1985.
9. ВОЛС. Справочник /Андрушко Л. М., Вознесенський В. А., Каток В. Б., и др.. Под редакцией Свєшникова С. В. и Андрушко Л. М.. — Киев: Техника, 1988.
10. Дж. Гауэр Оптические системы связи Пер. с английского под ред. А. И. Ларкина М. «Радио и связь». 1989.
11. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи — М.: Радио и связь, 1990.
12. Н. Н. Слепов Синхронные цифровые сети SDH. ЭКО-ТРЕНДЗ, М. 1997.
13. А. Н. Назаров, М. В. Симонов ATM: технология высокоскоростных сетей ЭКО-ТРЕНДЗ, М. 1997.
14. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв`язку.– К.:Велар, 1999.
15. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Системы передачи. Компоненты. Измерения, М. 1999.
16. “Оптические параметры разъёмных оптических соединителей” Каток В. Б. Гончаров А. В. Фотон-Экспресс 21, декабрь 2000 г
17. Андрэ Жирар. Руководство по технологии и тестированию систем WDM. – М.: EXFO, 2001. с англ. под ред. А. М. Бродниковского, Р. Р. Убайдуллаева, А. В. Шмалько. / Общая редакция А. В. Шмалько
18. Джон К. Беллами Цифровая телефония ЭКО-ТРЕНДЗ, М. 2004.
19. Tony Gomez “Optical Switches: Making Optical Networks a Brilliant Reality” Web ProForum Tutorials http://www.iec.org
20. George N. Rouskas, Lisong Xu “OPTICAL PACKET SWITCHING “
21. H. Jonathan Chao and Soung Y. Liew “A New Optical Cell Switching Paradigm”
22. «Разьемы для оптики» Каток В. Б., Руденко И. Э., Ковтун А. С.
23. Матеріали сайту http://dpm.ukrtelecom.ua
24. Матеріали сайту http://user.rol.ru/~optcom/
25. Матеріали сайту http://www.tt.ru/company.htm
26. Матеріали сайту http://www.optictelecom.ru/
27. Матеріали сайту http://www.tkc.ru/about/index.html
28. Матеріали сайту http://www.intg.ru/articles/n/fcrystals.shtml
29. Матеріали сайту http://www.tls-group.ru/vols/
30. Матеріали сайту http://www.bilim.com
31. Матеріали сайту http://ktl.ru/