**Лекція 18. Нерегулярні і нелінійні оптичні ефекти в світловодах**

У світловодах існує 2 основних типи нерегулярності:

* вигин;
* скручування.

При намотуванні волоконно-оптичного кабелю на трасі світлопроводи в кабелі можуть скручуватися (ефект скручування світловода).

При цьому різні скрутки r пов'язаний з радіусом вигину R наступним чином:

R= r + h2/4, де h-крок скручування;

Скручування світловода призводить:

а) погіршенням оптичних властивостей світловоду, перехідному впливу на дуги світловода, додаткових втрат, збільшення загасання.

б) погіршення механічних властивостей світловоду, зниження міцності, появи мікротріщин, старіння волокна.

Чим менше R, тим значніше проявляються ці недоліки.

При вигині і скрутці світловода порушується закономірності відображенні променю на кордоні серцевина – оболонка світловода, тому частина енергії випромінює в навколишній простір і переходить на волокна.

Вплив скручування на оптичні характеристики світловода можна оцінити величиною :

, [дБ], де а-радіус серцевини.

Критичний радіус вигину Rкр менше котрого не можна згинати волокно, визначається з умови:

=0;

Rкр = а/.

**Приклад.** Якщо а = 25 мкм, Δ = 0,01, тоді Rкр = 2,5 мкм. Значить R повинна бути 2,5 мкм.l

Якщо візьмемо R = 15 мкм, то для цього випадку = 0,86 дБ.

Відзначимо, що через вигин виникає поверхнісна напряга, що призводить до мікротріщин. Не зупиняючись на деталях розрахунку механічної точності світловода для нашого прикладу отримаємо, що радіус вигину для забезпечення механічної точність не повинна бути менше Rмех = 3,1 мкм.

Порівнюючи отримані дані допустимих радіусів вигину, бачимо, що визначальними є механічні властивості, а не оптичні (Rкр = 3,1мкм). В даному випадку згинати світловод по радіусу менше, ніж 3,1 мкм не допустимо.

Оптичне волокно допускає вигин до R > 20 \* 2r, де r – радіус скрутки.

У світловодах виникають такі типи оптичної нелінійності:

* вимушене комбінаційне рамановське розсіювання;
* вимушене розсіювання Маньдельштама-Бріллюена;
* 4-хвильове змішання;
* фазова самомодуляція.

Фізика цих процесів описується методами квантової механіки.

Так наприклад:

* взаємодія фотонів і молекулярних коливань;
* взаємодія фотонів і акустичних фононів;
* взаємодія фотонів з електронної гратами;
* захоплення збуджених електронів.

Використання потужних лазерів значно збільшує інтенсивність світла і призводить до вимушених розширень Мандельштама-Бріллюена і фазової самомодуляції.

При ще більш високих щільностях енергії буде виявлений ефект вимушеного комбінаційного розсіювання, але в світловодах є 4-хвиливе змішення, яке проявляється в системах зі спектральним ущільненням.

Таке ущільнення називається спектральним мультиплексуванням з поділом по довжинам хвиль.

Результатом 4-хвилевого змішення є те, що кілька довжин хвиль змішуються і породжуються нові довжини хвиль, як:

N2 (N-1)/2, де N – число первинних довжин хвиль.

Так, наприклад в 4-канальній системі (N = 4) з'являються 24 паразитних канали, а при N = 16 їх число зростає до 1920.

Заважаючий вплив такого числа паразитних каналів іноді може бути катастрофічним. Уникнути цього можна правильним вибором потужності вихідного лазера. При вимушеному розсіюванні Мандельштама-Бріллюена істотна частина поширюється в певному напрямку від випромінювача до приймача. Обидва явища призводять до обмеження потужності, що передається по світловоду, а також до зменшення довжини ділянки регенерації.

Фазова самомодуляція призводить до уширення імпульсів та спотворення сигналів. Це на ділянці значної довжини може бути істотним.

Для компенсації нелінійних явищ використовують світловоди з ненульовий зміщеною дисперсією.

Слід завжди враховувати, що нелінійні ефекти збільшуються у міру збільшення довжини лінії зв'язку.