

УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ РАМАНІВСЬКИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ В ФОТОННИХ ЛІНІЙНИХ ТРАКТАХ

Огородник Д.О., Бердников О.М.

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, КІІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: dimaogorodink@gmail.com

Terms of use Distributed Raman Amplifier in Photon Line Path

The principle of Distributed Raman Amplifier (DRA) is analyzed. The diagrams of levels of multiplex signals are described and illustrate.

Компенсації втрат оптичних сигналів, що вносяться пасивними елементами фотонних лінійних трактів (*PLP*–*Photon Line Path*) телекомунікаційних транспортних систем (ТТС): мультиплексорами, демультіплексорами, компенсаторами хроматичної дисперсії тощо, а також втрат, що вносяться одномодовими оптичними волокнами (ООВ) підсилювальних ділянок (ПД) *PLP*, здійснюються волоконно-оптичними підсилювачами (ВОП) проміжних пунктів.

Перши ВОП, наприклад, для *C*-діапазону довжин хвиль, будувалися на спеціальних ООВ довжиною кілька десятків метрів, серцевина яких була легірована позитивними іонами активного елементу – ербію (*Er³⁺*), отримали позначення ВОП *EDFA* (*Erbium Doped Fiber Amplifier*). В подальшому, з метою збільшення пропускнуої спроможності ТТС, були розширені, ліворуч й праворуч, межі *C*-діапазону довжин хвиль, за рахунок застосування розподілених Раманівських ВОП (РПП). Такі РПП або *DRA* (*Distribute Raman Amplifiers*), застосовані в *PLP*, мають смугу пропускання понад 170 нм, що забезпечує можливість розподіленого раманівського підсилення мультиплексних сигналів у всьому сумарному (*S + C + L*)–діапазоні довжин хвиль. Таким чином, виникли задачі визначення потужності оптичного випромінювання лазерів накачки (ЛН) РПП та місця їх розташування в лінійному тракті.

Принцип роботи розподілених Раманівських підсилювачів *DRA* заснований на використанні виникаючого в ООВ нелінійного оптичного явища такого як вимушене комбінаційне розсіювання (ВКР), або стимульоване Раманівське розсіювання *SRS* (*Stimulated Raman Scattering*) [1, 3].

Одномодове волокно підсилювальної ділянки *PLP* при накачці його серцевини оптичним випромінюванням на одній або декількох довжинах хвиль від одного (рис. 1) або декількох лазерів перетворюється при цьому в *DRA*.

Відомо [1], що при проходженні оптичного випромінювання, тобто фотонів через тверду речовину, в ньому (в тому числі і кварці) відбувається два види розсіювання: Релеївське і Раманівське.

При Раманівському розсіюванні фотони, стикаючись з мікрочастинками

кварцу серцевини волокна, не тільки змінюють траєкторію руху, а й віддають частину своєї енергії. Число молекул в 1 см^3 речовини (кварца) дуже велике – біля 10^{23} , тобто щільність кварца дуже висока, це обумовлює взаємодію між молекулами [1, 2].

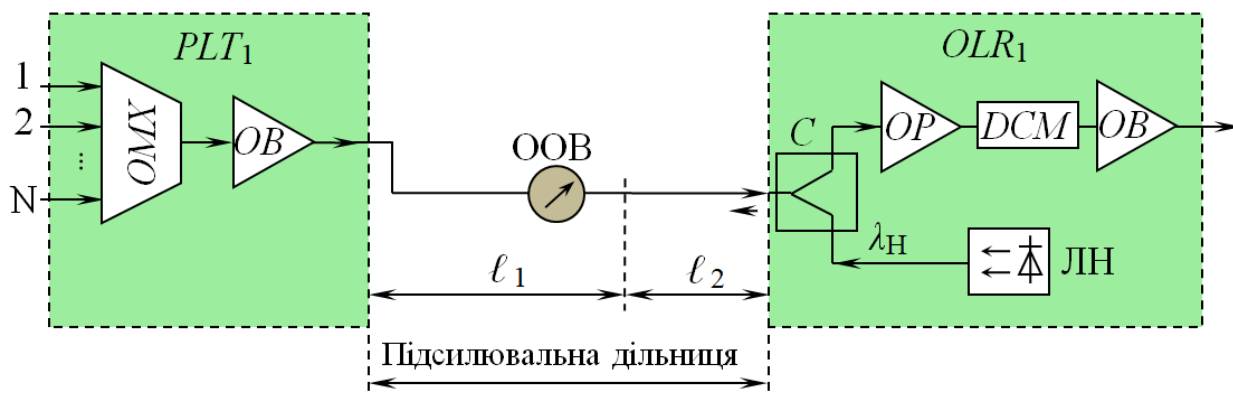


Рис. 1. Схема включення одного лазера накачки.

При аналізі значень оптичного випромінювання ЛН розглядався варіант включення накачки тільки зі сторони прийому оптичного сигналу, що можуть розташовуватися як на кінцевих станціях в *PLT* (*Photon Line Terminal* – фотонний лінійний термінал), або в проміжних пунктах *OLA* (*Optical Line Amplifier* – оптичні лінійні усилители).

Отримавши імпульс енергії від фотона накачки і збільшивши рівень коливальної енергії, мікрочастинка передає імпульс сусіднім молекулам, тим самим збуджуючи направлену гіперзвукову хвилю. Енергія цієї хвилі також квантована. Кванти цієї енергії називаються фононами. При деякому рівні потужності оптичного випромінювання накачки майже вся енергія переходить в енергію стоксового випромінювання. Цей процес отримав назву *SRS*-стимульованого Раманівського розсіювання, завдяки *SRS*-процесу в серцевині оптичного волокна створюється направлене підсилююче середовище.

Визначення граничних значень оптичного випромінювання ЛН здійснювалась за допомогою діаграми рівнів оптичної потужності мультиплексного сигналу. Аналіз такої діаграми на підсилювальній ділянці *PLP* надає три варіанта довжини ПД (рис. 2). Варіант 1 відповідає діаграмі рівнів оптичної потужності мультиплексного сигналу (пунктирна лінія) при його розповсюдженні по волокну деякої ділянки, що підсилюється, наприклад, l_1 , котрий не має *DRA*-підсилювача, тобто до волокна підсилювальної ділянки не підключені лазери Раманівської накачки. Варіант 2 відповідає другій по протяжності підсилювальній ділянці $l_{\text{ПД}} = l_1 + l_2$, до якої підключені лазери Раманівської накачки з деяким сумарним значенням оптичної потужності накачки. Варіант 3 відповідає до третьої по протяжності підсилювальній ділянці $l_{\text{ПД}} = l_1 + l_3$. Це досягається підвищенням сумарної оптичної потужності випромінювання накачки на виході лазерів ЛН до значення $P_{\text{Н3}} > P_{\text{Н2}}$.

Коли потужність джерел накачування $P_{\text{Н}}$ перевищує деяке порогове

значення, в серцевині робочого ООВ виникає вимушене комбінаційне розсіювання, середовище з рівноважного перетворюється в інверсне, тобто підсилююче. Величина посилення такого середовища визначається співвідношенням кількості збуджених і незбуджених мікрочастинок, або Раманівським коефіцієнтом – g_R .

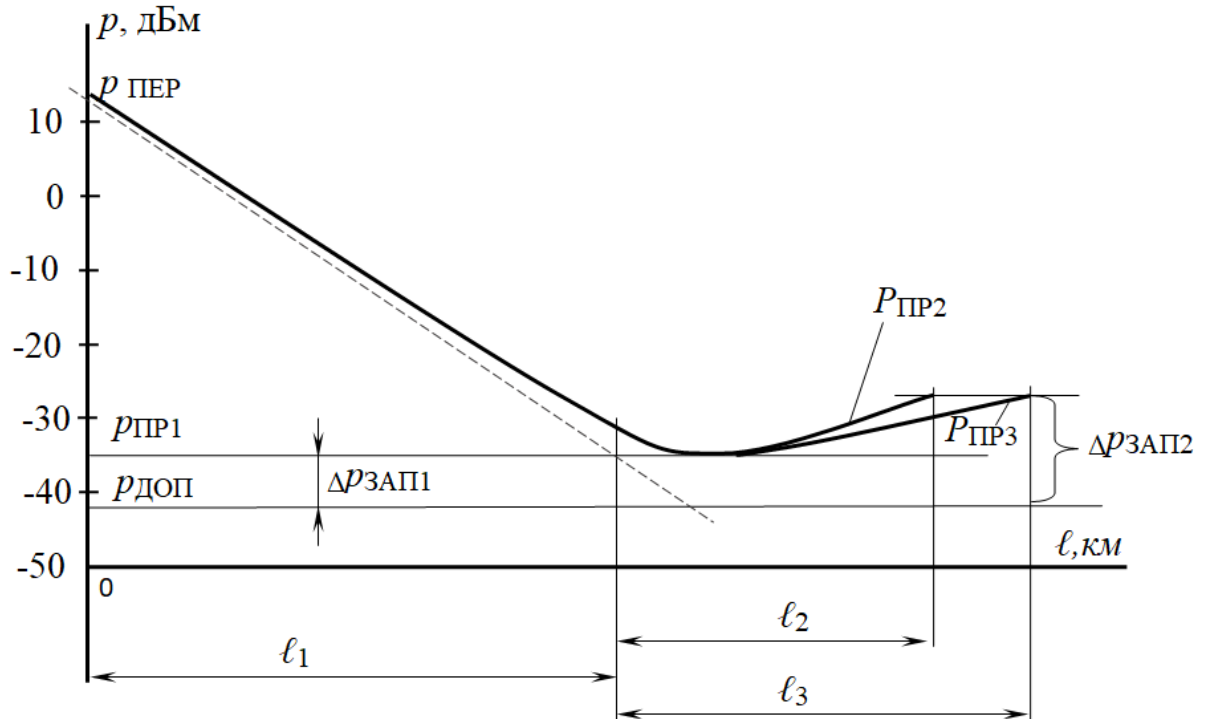


Рис. 2. Діаграма рівнів оптичної потужності мультиплексного сигналу на підсилювальній ділянці PLP з включенням РРП (суцільна лінія) та без РРП (пунктирна лінія).

Коефіцієнт передачі ООВ з Раманівським накачуванням, або коефіцієнт підсилення РРП G_R визначається як $G_R = \exp(g_R P_H \ell_{пд} / A_{эф})$, де: P_H – потужність оптичного випромінювання накачування, Вт; $\ell_{пд}$ – довжина ООВ ПД, км; $A_{эф}$ – ефективна площа поперечного перерізу серцевини ООВ, мкм^2 ; g_R – Раманівський коефіцієнт, км/Вт [2, 4].

Отримані результати визначають діапазони змін потужності накачування РРП ЛН з метою збільшення протяжності підсилюючої ділянки PLP .

Література

1. Складов О.К. Волоконно-оптичні мережі та системи зв'язу. Москва, Солон-Пресс, 2004, 272 с.
2. Хмельов К.Ф. Основи фотонного транспорту. Київ, Техніка, 2008, 680 с.
3. Макаров Н.С. Оптичні волоконні усилителі інформаційних сигналів. Науково-технічний вісник Санкт-Петербурзького університету інформаційних технологій, механіки та оптики. Випуск 6. Інформаційні, обчислювальні та керування системи. СПб: СПбУИТМО (ТУ), 2002, с. 191...199.
4. Бердников О.М. Умови визначення потужності лазерів накачування раманівських розподільчих підсилювачів фотонних лінійних трактів. ІХ науково-практична конференція "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в АТО" 25 листопада 2016 року (Тези доповідей). – Київ : ВІПІ, 2016. – С. 64.