

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВИМУШЕНОГО РАМАНІВСЬКОГО РОЗСІЮВАННЯ В DWDM СИСТЕМІ

Орищук М.В., Романов О.І.

НТУУ «Київський політехнічний інститут», Україна

Email: maximshd@ukr.net, a_i_romanov@mail.ru

The method of calculation of stimulated Raman scattering in DWDM System

A large number of optical wavelength and huge amount of traffic create new non-linear process inside optical fiber. This paper dedicated on estimation stimulated Raman scattering (SRS) inside multi channel DWDM system. New integrated method of calculation was proposed. Practical estimation showed that SRS effect is mandatory for consideration in high-power multi channel system.

Ключові слова: нелінійні ефекти, оптичне волокно, вимушене Раманівське розсіювання, хвильове мультиплексування.

WDM технології набувають все більшої популярності при побудові магістральних ліній зв'язку. Найбільш привабливою особливістю даної технології являється можливість нарощування пропускної здатності без перебудови інфраструктури, а лише за рахунок введення нових хвиль. Тому, однією із найважливіших характеристик WDM системи являється кількість оптичних каналів, які можливо запустити в одному оптичному волокні. Так на провідне місце в останні роки вийшла DWDM система, яка дозволяє організувати до 80 оптичних каналів в одному фізичному, при цьому максимальна пропускна здатність такої системи може складати 6,4 Тбіт/с[2].

Незважаючи на всі переваги багатоканальної DWDM системи, вона має ряд обмежень, які при певних умовах значною мірою впливають на сигнал, який передається. Найбільш характерним і визначальним обмеженням, після затухання та дисперсії, являється міжканальна взаємодія. Можна виділити наступні перехресні перешкоди, викликані нелінійною взаємодією між світлом і матеріалом оптичного волокна: вимушене Раманівське розсіювання (SRS), вимушене Бріллюенівське розсіювання (SBS), фазова самомодуляція (SPM), перехрестна фазова модуляція (XPM) та чотирьох хвильове змішування (FWM).

Якщо в одноканальній оптичній системі вплив Раманівського розсіювання незначний, через малу потужність оптичного сигналу який передається, то в 80-канальній системі його вплив може в значній мірі вплинути на якість нашого сигналу в системі. Дана стаття присвячена впливу SRS на DWDM систему та визначенню основних енергетичних показників системи з SRS.

Вимушене Раманівське розсіювання виникає внаслідок взаємодії світла та молекулярної вібрації середовища розповсюдження (SiO_2). Як результат, відбувається перетворення частоти світлової хвилі. Дві нові спектральні компоненти з'являються навколо спектру корисного сигналу. Компонента з нижчою частотою

називається хвилею Стокса і має набагато вищий рівень ніж компонента з вищою частотою. Це призводить до ослаблення енергії оптичного сигналу, що вводиться в волокно. Як правило, це не є проблемою для окремих каналних систем, через відносно високий поріг потужності, при якому починається помітний вплив SRS на сигнал. Але якщо ми вводимо дві оптичні хвилі, які розташовані на відстані, що входить в смугу підсилення Стокса, в волокно, де присутня Раманівська взаємодія, потужність низьких частот буде збільшуватися за рахунок вищої частоти хвилі. Подібний обмін енергією між каналами називається перехрестною взаємодією. В більш складному випадку, коли кількість каналів $N \geq 2$, низькі частоти підсилюються за рахунок більш високих лише у тому випадку, якщо різниця між їх частотами знаходиться в смузі раманівського підсилення[1].

Для оцінки SRS було сформовано ряд входних параметрів системи:

- Коефіцієнт ослаблення для кабелю G.652 $\alpha = 0.22$ дБ/км,
- ефективна площа ядра $A_{eff} = 36.33$ мкм²,
- довжина ділянки $L = 100$ км,
- довжина хвилі нульового каналу $\lambda_0 = 1440$ нм,
- раманівська смуга підсилення $\Delta F = 15$ ТГц,
- рівень входного сигналу $P_i = 600$ мВ,
- кількість каналів в системі $N = 8$.

В якості топології DWDM мережі була взята топологія «точка-точка» без регенераційних секцій та проміжних підсилювачів (рис. 1).

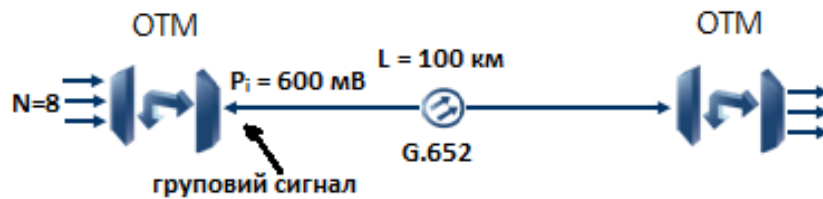


Рис. 1 Блок-діаграма досліджуваної схеми, де OTM – Optical Terminal Multiplexer.

Втрати потужності, які виникають в каналі через вплив SRS можуть бути обраховані як сума всіх потужностей, що передається до інших каналів на більш низьких частотах [1].

$$D = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{f_0 * P_i * g_i * L_{eff}}{f_i * A_{eff}}, \quad (1)$$

де D – потужність сигналу, яке перерозподіляється по іншим частотам [Вт], i – номер каналу, f_0 – частота нульового каналу (канал із найбільшою частотою), f_i – частота i -го каналу, N – кількість каналів в DWDM системі, P_i – потужність на вході i -го каналу, L_{eff} – ефективна довжина оптичної лінії, A_{eff} – ефективна площа ядра оптичного волокна, g_i – раманівський коефіцієнт підсилення для i -го каналу.

Ефективна довжина лінії може бути виражена як[1]:

$$L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт загасання в оптичному волокні [дБ/км],
 L – актуальна довжина оптичної лінії [км].

На другому етапі необхідно визначити рівень енергії, що виділиться на частоті Стокса. Ця енергія залежить від Раманівського коефіцієнта підсилення g_i , що в свою чергу залежить від різниці частот між каналами, які обмінюються енергією. Для G.652 коефіцієнт був знайдений експериментально. Було виявлено, що смуга Раманівського підсилення діє в смузі 40 ТГц [1](рис.2)

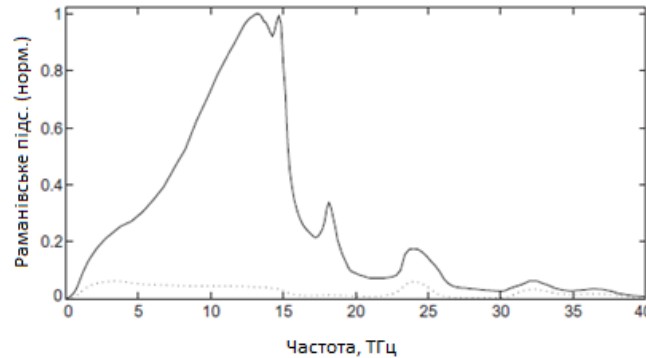


Рис. 2 Залежність нормованого коефіцієнта Раманівського підсилення від різниці між частотою накачки та частотою Стокса.

В спрощеному вигляді g_i можемо обрахувати за виразом[3]:

$$g_i = \frac{G\Delta f_i}{2\Delta F}, \quad (3)$$

Після визначення всіх необхідних показників, можемо розрахувати сумарну енергію що залишиться в цільовому каналі після дії SRS[3]:

$$P_{rem1} = -10\lg(1 - D), \quad (4)$$

Застосовуючи аналіз, запропонований в [4] отримуємо наступне рівняння для визначення частки потужності, що залишається в цільовому каналі (в дБ):

$$P_{rem2} = -10\lg\left(1 - \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1 - \exp\left(\frac{f_0 * P_i * g_i * L_{eff}}{f_i * A_{eff}}\right)}{1 - \exp\left(\frac{f_0 * P_i * g_i * L_{eff}}{f_i * A_{eff}}\right)}\right), \quad (5)$$

Результати дослідження SRS на основі запропонованої методики показали, що за достатньо високої потужності вхідного сигналу рівень втрат може складати значне значення. Так, для 8-канальної DWDM системи з вхідною потужністю сигналу 600 мВ, різниця між першим та останнім каналом сягає понад 8 дБ. При збільшенні кількості каналів в системі це значення буде сягати ще більшого значення. Таким чином, вимушене Раманівське розсіювання має значний вплив на оптичну систему передачі і його потрібно враховувати при проектування DWDM систем.

Література

1. G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics. Rochester, NY: Academic Press, 2013, 5th. ed. – 623.
2. ITU, Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid, Recommendation ITU-T G.694.1, ser. Series G. International Telecommunication Union, 2012, 2nd ed.
3. S. P. Singh, R. Gangwar, and N. Singh, Nonlinear scattering effects in optical fibers. Progress In Electromagnetics Research, p. 379405, 2007.
4. ITU-T Study Group 15, Delayed Contribution D.170, Geneva, Feb. 9-20, 1998.