

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА ОПТИЧНОГО МУЛЬТИПЛЕКСОРА НА БРЕГІВСЬКИХ СТРУКТУРАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано методику модельного розрахунку параметрів фільтра оптичного мультиплексора на волоконних брегівських структурах. Оцінено параметри такого фільтра та розглянуто перспективи його застосування у WDM системах оптичних транспортних мереж

Ключові слова: хвильове мультиплексування, дифракція Брега, оптичний мультиплексор.

Abstract

A method of model calculation of the optical multiplexer filter parameters on fiber Bragg structures is proposed. The parameters of such a filter are evaluated and the prospects of its application in WDM systems of optical transport networks are considered

Keywords: wave multiplexing, Bragg diffraction, optical multiplexer

Вступ

Сьогодні принаймні п'ять технологій реалізують введення-виведення і фільтрацію оптичних несучих у пристроях та системах WDM для мультиплексування оптичних несучих частот [1-3]:

- фільтри на основі оптоволоконних дифракційних решіток Брега (FBG);
- фільтри на основі інтерферометра Фабрі-Перо;
- інтерференційні фільтри на тонких плівках;
- поляризаційні фільтри на рідких кристалах;
- акустооптичні перебудовувальні фільтри.

До таких фільтрів висувають високі вимоги. Так, вони повинні мати малі внесені втрати, які не повинні залежати від поляризації вхідного сигналу. Смуга пропускання фільтра не повинна залежати від температури. Амплітудно-хвильова характеристика фільтра повинна бути максимально плоскою в робочому інтервалі довжин хвиль із великою крутизою спаду в перехідній області (для каскадування фільтрів в системах WDM і мінімізації впливу перехідного загасання сусідніх каналів).

Метою роботи є розроблення удосконаленої методики розрахунку параметрів фільтра оптичного мультиплексора на волоконних брегівських структурах та здійснення відповідного модельного розрахунку 40-канальної структури такого фільтра.

Результати дослідження

Широке застосування в системах WDM в якості фільтрів і елементів введення-виведення волокна знаходять волоконні решітки Брега (рис.1).

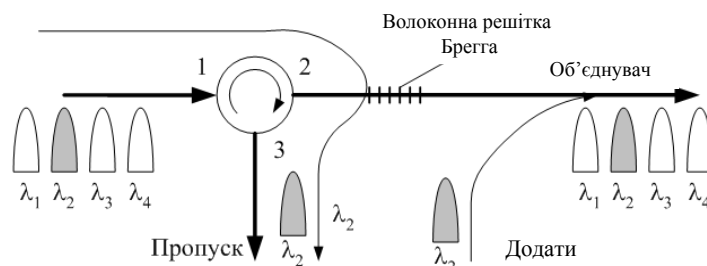


Рис. 1 - Оптичні елементи add/drop на брегівських решітках

Структурну схему несиметричної FBG [2] представлено на рис. 2.

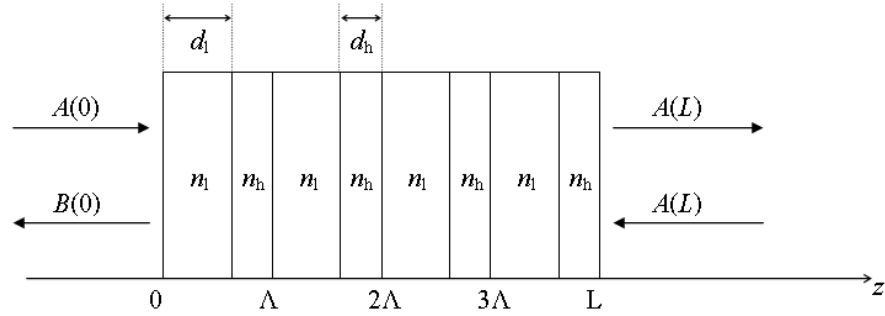


Рис. 2. Структура дифракційної ґратки FBG

Поблизу брегівської довжини хвилі фаза відбитої хвилі змінюється лінійно. Тому відбиття розраховують за моделлю ефективних дзеркал:

$$r_{DBR} \approx |r_{DBR}| \exp(-2i(\beta - \beta_B)L_{pen}), \quad (1)$$

де β – середнє значення фазової константи хвилі, L_{pen} – відстань від краю решітки до площини ефективного дзеркала.

Коефіцієнт відбиття на довжині хвилі Бреґга $|r_{DBR}|$ дорівнює

$$|r_{DBR}|^2 = \left(\frac{1 - (n_1/n_2)^{2m}}{1 + (n_1/n_2)^{2m}} \right)^2, \quad (2)$$

де m – кількість чвертьхвильових шарів, n_1 і n_2 - показники заломлення відповідних шарів відбивача.

Спектр відбиття брегівського відбивача отримують на основі теорії зв'язаних мод

$$r_B(\lambda) = \frac{\sinh^2 \left[\eta(V) \delta n_0 \sqrt{1 - \Gamma^2} \frac{N\Lambda}{\lambda} \right]}{\cosh^2 \left[\eta(V) \delta n_0 \sqrt{1 - \Gamma^2} \frac{N\Lambda}{\lambda} \right] - \Gamma^2}, \quad (3)$$

де $\Gamma = \frac{1}{\eta(V) \delta n_0} \left(\frac{\lambda}{\lambda_B} - 1 \right)$ - оптичний конфаймент, $\delta n_0 = n_3 - n_2$ - варіація показника заломлення ,

$\eta(V)$ - функція відсотку інтенсивності основної моди в серцевині волокна.

Розрахуємо параметри багатоканального оптичного фільтра на FBG із такими вхідними характеристиками:

Кількість каналів (решіток FBG) – 40,

Робочий спектральний діапазон – 1530...1565 нм,

Характеристики оптичних фільтрів на основі FBG решіток:

Показник заломлення серцевини волокна (германатне скло)- $n_3 = 1,468$,

Різниця спектрів відбитих сигналів сусідніх FBG – 100ГГц ($\Delta\lambda = 0,08$ нм).

Спектральна ширина інформаційного каналу – 0,1 нм.

Ефективний показник заломлення оптичних фільтрів FBG

$$n_{eff} = \frac{2}{1/n_2 + 1/n_3} = 1.468$$

Періоди решіток змінюватимуться в діапазоні

$$\Lambda_1 = \frac{\lambda_B}{2n_{eff}} = 0.521 \text{ мкм} \quad \Lambda_2 = \frac{\lambda_B}{2n_{eff}} = 0.524 \text{ мкм} \quad \Lambda_{40} = \frac{\lambda_B}{2n_{eff}} = 0.533 \text{ мкм}$$

Відповідні товщини кожного з оптичних фільтрів

$$L_1 = \frac{\lambda_B}{4n_3} = 0.261 \text{ мкм} \quad L_2 = \frac{\lambda_B}{4n_3} = 0.262 \text{ мкм} \quad \dots \quad L_{40} = \frac{\lambda_B}{4n_3} = 0.267 \text{ мкм}$$

Одним із найважливіших параметрів БВР є величина наведеної модуляції ПЗ, для оцінки якої використовують формулу [1]

$$\Delta n = \frac{\lambda_B}{\pi \cdot l} \tanh^{-1} \left(\sqrt{r_{\max}} \right),$$

де r_{\max} – коефіцієнт відбиття на центральній довжині хвилі брегівського резонансу, l – довжина решітки.

Для $\lambda_B = 1550$ нм при $r_{\max} = 95\%$ та $l = 13$ мм отримуємо розрахункову величину наведеної модуляції показника заломлення $\Delta n = 5,13 \cdot 10^{-5}$.

Вважаємо кількість шарів у фільтрі мультиплексора (кількість штрихів решітки) $N = 70000$. Ширина спектра відбиття БВР на рівні напіввисоти має вигляд

$$\Delta \lambda = \lambda_B \alpha \sqrt{\left(\frac{\Delta n}{2n_0} \right)^2 + \left(\frac{1}{N} \right)^2},$$

де параметр α приймається 1 для сильновідбиваючих решіток ($>90\%$), (для слабковідбиваючих – 0,5).

$$\Delta \lambda = 1,55 \cdot 10^{-6} \sqrt{\left(\frac{5,29 \cdot 10^{-5}}{1,0} \right)^2 + \left(\frac{1}{70000} \right)^2} = 0,0826 \text{ нм}$$

Отримане значення є менше заданої спектральної ширини інформаційного каналу (0,1 нм), отже така структура є робочою.

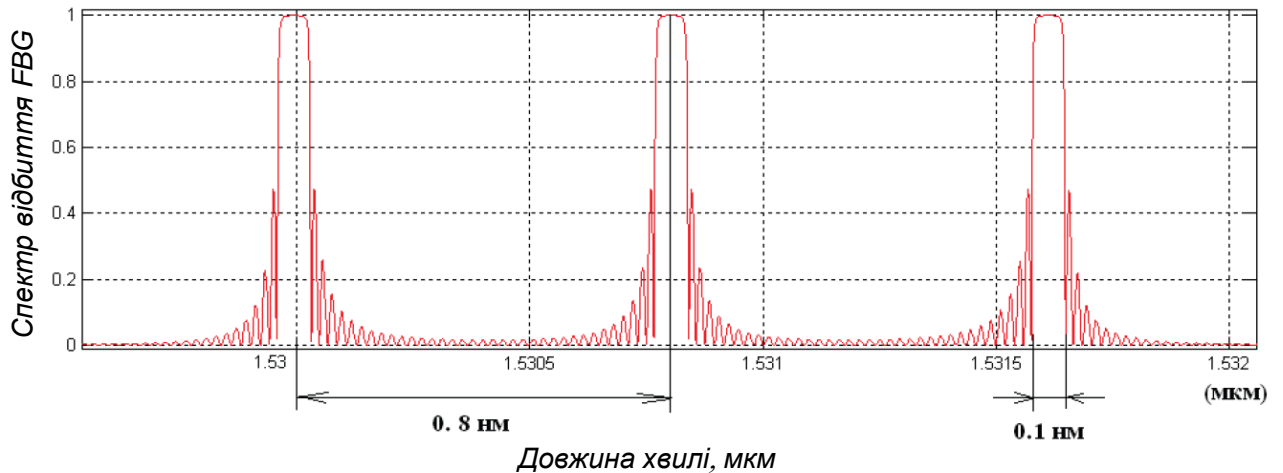


Рис.3. Спектр відбиття перших трьох БВР (збільшений масштаб) мультиплексованої лінії (WDM) із 40 каналами (частотний план 100ГГц)

Для визначення максимальної смуги частот мультиплексора на оптичних фільтрах FBG використаємо формулу частотного діапазону для брегівського відбивача

$$\Delta f = \frac{4}{\pi} f_B \arcsin \frac{n_3 - n_2}{n_2 + n_3} = 4,306 \cdot 10^9 \text{ Гц}$$

Загальна пропускна здатність такого оптичного мультиплексора

$$BW = \Delta f \cdot N_\lambda = 4,306 \text{ ГГц} \cdot 44 = 189,464 \text{ ГГц}$$

Оскільки отримане значення більше 100ГГц, розрахована структура є робочою.

Висновки

Встановлено, що запропонований підхід дозволяє здійснювати модельний розрахунок багатоканальної структури фільтра на брегівських ґратках для оптичного мультиплексування, введення-виведення частотних несучих сучасних WDM систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yairi M. B. Optically controlled optical gate with an optoelectronic dual diode structure – theory and experiment/, H. V. Demir, D. A. B. Miller. // Optical and Quantum Electronics. Special Issue on Components for Ultrafast Communications. – September, 2001. – Vol. 33. – pp.1035-1054.
2. Гринфілд Девід. Оптические сети. – К.: ООО "ТИД "ДС", 2002. – 256 с.
3. Бирюков Н.Л. Стеклов В.К. Транспортные сети и системы электросвязи. Системы мультиплексирования. К: ЗАТ «Віпол», 2003. – 354 с
4. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ: Техніка, 2001 – 346 с.

Горшков Вадим Вікторович — студент групи ЛТО-19мз, факультет комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: diggervad@gmail.com

Файчук Володимир Валерійович — студент групи ЛТО-18мз, факультет комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: fajchuk@gmail.com

Деркач Владислав Валерійович — студент групи ЛТО-18мз, факультет комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bjjad7878@gmail.com

Науковий керівник: **Тужанський Станіслав Євгенович** — канд. техн. наук, доцент кафедри лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Gorshkov Vadym V. — Department of Computer Systems and Automatics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: diggervad@gmail.com

Fajchuk Volodymyr V. — Department of Computer Systems and Automatics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: fajchuk@gmail.com

Derkach Vladyslav V. — Department of Computer Systems and Automatics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bjjad7878@gmail.com

Supervisor: **Tuzhanskyi Stanislav Ye.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. of Professor of the Department of Laser and Optoelectronic Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia