

МОДЕЛЮВАННЯ 2-РЕЗОНАТОРНОГО ADD-DROP ФІЛЬТРА НА МІКРОКІЛЬЦЕВИХ РЕЗОНАТОРАХ

Пашенко А.І., Трубін О.О.

Інститут телекомунікаційних систем КІП ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: Andriypashenko@ukr.net

MODELING OF THE 2-RESONATOR ADD-DROP FILTER ON MICRORING RESONATOR

This publication is about a method for modeling of an Add / Drop filter based on an microring resonator transmission coefficients. The results of simulation of different types of filters are presented.

У роботі продемонстровано метод розрахунку параметрів ADD-DROP фільтрів різних типів із допомогою вирішення задачі розсіювання електромагнітних хвиль інтегральних оптичних ліній на системах зв'язаних між собою оптичних мікрорезонаторів.

Розвиток систем зв'язку відбувається у напрямку збільшення обсягів переданої інформації, що в свою чергу викликає потребу у зменшенні затримок та збільшення швидкостей передачі. При побудові сучасного телекомунікаційного обладнання все частіше виникає потреба переходу до більш високочастотних діапазонів, зокрема, міліметрового та терагерцового діапазонів довжин хвиль. Одні з ключових елементів інфраструктури мереж зв'язку - це фільтри. [1, 2]

У роботі продемонстровано метод розрахунку параметрів фільтрів різних типів (Чебишівський, Баттервортівський) з допомогою вирішення задачі розсіювання електромагнітних хвиль інтегральних оптичних ліній на системах зв'язаних між собою оптичних мікрорезонаторів.



Рис.1. Схема 2-резонаторного фільтру.

На рис.1 зображено фільтр який складається з резонаторів (R1, R2) та двох хвилеводних трактів (1-2 та 3-4), де 1 - порт введення сигналу, 2 - порт виведення підсиленого сигналу, 3 - порт видалення, 4 - порт додавання.

Коефіцієнт зв'язку для фільтру, зображеного на рис. 1, можна отримати з [3], і для випадку з двома резонаторами він має вигляд:

$$K = \|k_{s2}(1 - \delta_{s2}) + i(\tilde{k}_1^e \delta_{s1} + \tilde{k}_1^0 \delta_{s2} + \tilde{k}_2^e \delta_{s3} + \tilde{k}_2^0 \delta_{s4} + \tilde{k}_{os})\|, \quad (1)$$

де $\tilde{k}_N^e$ - коефіцієнт зв'язку мікрорезонатора з лінією зв'язку для парних

коливань; $\tilde{k}_N^o$ - коефіцієнт зв'язку мікрорезонатора з лінією зв'язку для непарних коливань; k_{s2} - коефіцієнт взаємного зв'язку мікрорезонаторів; $\tilde{k}_{os}$ - коефіцієнт зв'язку мікрорезонаторів з відкритим простором; δ_s - символ Кронекера.

Параметри матриці розсіювання на вході (виході) фільтра можна розрахувати використовуючи відомі [4] вирази:

$$S_{1v} = 20\log(|T_{1v}|) = 20\log(|(\delta_{2v} - \frac{Q^D}{\det B} \sum_{s=1}^{2N} \frac{\det B_v^s}{Q_s(\omega)})|), \quad (2)$$

де

$$B_v^s = \begin{bmatrix} b_1^{e1} & \dots & \sum_{n=1}^n b_n^{es} \tilde{k}_{n1}^{\mp+} & \dots & b_1^{e2N} \\ b_1^{o1} & \dots & \sum_{n=1}^n b_u^{es} \tilde{k}_{n1}^{\mp+} & \dots & b_1^{o2N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_N^{o1} & \dots & 0 & \dots & b_N^{o2N} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$B(\omega) = \begin{bmatrix} b_1^{e1} & \dots & b_1^{e2N} \\ b_1^{o1} & \dots & b_1^{o2N} \\ \vdots & & \vdots \\ b_N^{o1} & \dots & b_N^{o2N} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$Q_s(\omega) = \frac{f}{f_0} + 2iQ^D \left(\frac{f}{f_0} - 1 - \frac{\lambda_s}{2} \right), \quad (5)$$

Q^D – добротність мікрорезонатора, N – кількість резонаторів, λ_s – власні значення матриці K , f_0 – частота власних коливань ізольованих мікрорезонаторів.

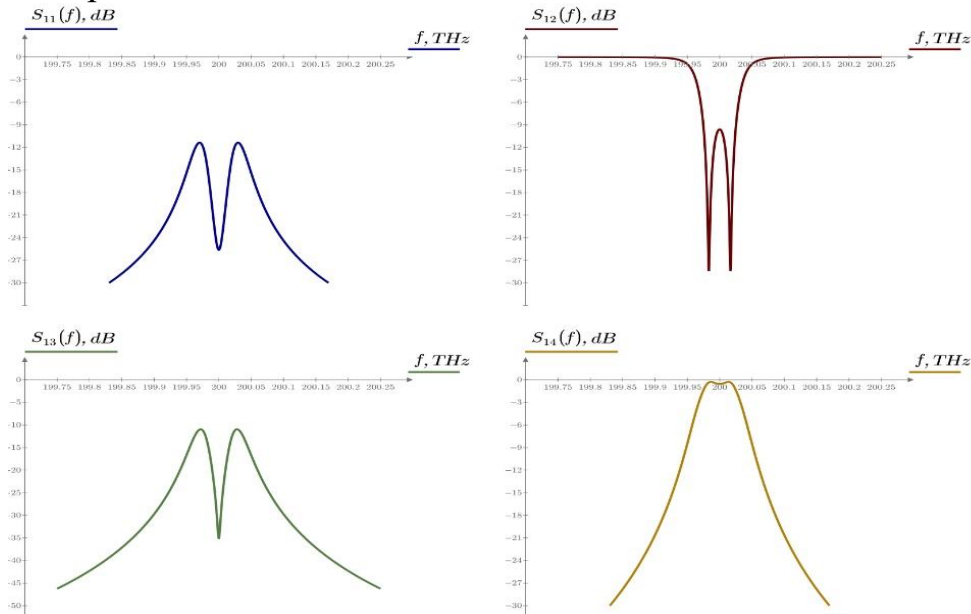


Рис. 2. Результат розрахунків матриць розсіювання 2 резонаторного Add-Drop фільтра.

Результати розрахунку залежності матриці розсіяння від частоти для 2-резонаторного Add-Drop фільтра наведені на рис. 2. Значення, використані при

розрахунках: $f_0 = 200$ ТГц; $Q^D = 10^6$; $\tilde{k}_{OS} = 10^{-7}$; $\tilde{k}^e = 1.5 \cdot 10^{-4}$; $\tilde{k}^0 = 2 \cdot 10^{-4}$; $k_{12}^e = k_{21}^e = 2 \cdot 10^{-4}$; $k_{12}^0 = k_{21}^0 = -3 \cdot 10^{-4}$.

В результаті розрахунків отримано фільтр, з квазі-Чебишівською характеристикою АЧХ на виході 4. Отримані розрахунки відповідають отриманим у роботі [5]. Варіюючи коефіцієнти зв'язку фільтрів з лініями передачі та коефіцієнти зв'язку фільтрів R1 з R2 можна бачити, що використовуючи коефіцієнти:

- $\tilde{k}^e = 2 \cdot 10^{-4}$, $\tilde{k}^0 = 2.5 \cdot 10^{-4}$, $k_{12}^e = k_{21}^e = 2 \cdot 10^{-4}$, $k_{12}^0 = k_{21}^0 = -3 \cdot 10^{-4}$ можна отримати Баттервортівську характеристику (гладка характеристика у смузі пропускання, найменша крутизна спаду – рис. 3,а);
- $\tilde{k}^e = 2 \cdot 10^{-4}$, $\tilde{k}^0 = 0.5 \cdot 10^{-4}$, $k_{12}^e = k_{21}^e = 1 \cdot 10^{-4}$, $k_{12}^0 = k_{21}^0 = -3 \cdot 10^{-4}$ можна отримати Чебишівську характеристику 1-го роду (з пульсацією у смузі пропускання, середнє значення крутизни спаду – рис. 3,б).

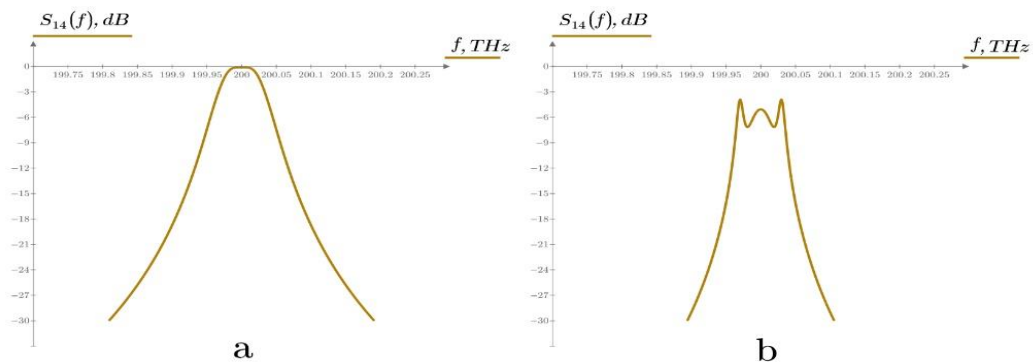


Рис. 3. Варіювання коефіцієнтів зв'язку Add-Drop фільтра.

У результаті моделювання продемонстровано можливість розрахунку фільтрів різного типу за допомогою запропонованої моделі. Отримані дані підтверджують можливість застосування моделі для майбутнього проектування оптичних фільтрів.

Література

1. Підгурська Т.В. Двосмугові фільтри на діелектричних резонаторах з вищими типами коливаний: автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій / Тетяна Василівна Підгурська. - Київ, 2016. - 24 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15380>
2. Городецкий М. Л. Оптические микрорезонаторы с гигантской добротностью. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 416 с.
3. Trubin A.A. Lattices of Dielectric Resonators, Springer International Publishing Switzerland. Series in Advanced Microelectronics 53, 2016. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-25148-6>. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25148-6>.
4. Trubin A. A. Electrodynamics modeling of add-drop filters on optical microresonators, 2019, pp. 30–36, DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12019.30-36>.
5. Trubin A. A. Calculation parameters of add-drop filters on optical microresonators, <http://conferenc.its.kpi.ua/2019/paper/view/15706/8569>.