

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОСМУЖКОВИХ ФІЛЬТРІВ НВЧ НА ОСНОВІ ФРАКТАЛІВ

К.т.н. В.М. Кришук, к.т.н. О.Ю. Фарафонов, к.т.н. Н.І. Фурманова, Запорізький національний технічний університет

В статті проаналізовано мікросмужкові фільтри НВЧ з фрактальною реалізацією резонаторних структур та запропоновано методику їх проектування.

В статье проанализированы микрополосковые фильтры СВЧ с фрактальной реализацией резонаторных структур и предложена методика их проектирования.

The microstrip filters with resonators in fractal realization are analyzed and design procedure is proposed in the article.

Ключові слова: фільтри НВЧ, мікросмужкові резонатори, фрактальна реалізація

Введення

Сучасні системи комунікацій та зв'язку потребують фільтрів з дуже низькими втратами, малим розміром, крутою характеристикою відсікання і сильним затуханням в смузі затримання. При значному тиражі виробу важлива технологічність виробництва фільтрів. Розв'язуючи ці задачі одночасно, проектувальники радіоелектронної апаратури часто віддають перевагу фільтрам, реалізованим на мікросмужкових лініях передачі. Для досягнення вищевказаних вимог до фільтрів при проектуванні фільтрів надвисоких частот (НВЧ) можуть бути застосовані різні резонаторні структури [1]. Серед резонаторних конструкцій можна виділити наступні: резонатори у вигляді відрізка лінії передачі; резонатори зі ступінчастою зміною хвильового опору; розімкнуто-петлеві та шпилькові резонатори; резонатори у вигляді дефективної заземлюючої або мікросмужкової структури; трикутні резонатори тощо. Різні види резонаторів можуть бути виконані у фрактальній реалізації. Під фракталом розуміють геометричну фігуру, що має властивості самоподібності, тобто складається з декількох частин, кожна з яких подібна всій фігурі повністю [2].

Використання топологій на основі фракталів при проектуванні мікросмужкових смугопротискаючих фільтрів дозволяє отримати конструкції з додатковими перевагами, такими як широкосмуговість, відсутність паразитної смуги пропускання на частоті, кратній центральній частоті смуги пропускання тощо за рахунок скейлінгових ефектів [3, 4, 5].

Проектування мікросмужкових фільтрів з фрактальною реалізацією резонаторів трикутного типу

Однією із різновидів фрактальних геометричних форм є килим та серветка Серпинського, в основі яких лежать квадрат та трикутник відповідно. На основі серветки Серпинського в роботі [6] було запропоновано мікросмужковий фільтр на основі трикутних резонаторів. Нами було розглянуто смугозагороджувачий фільтр (СЗФ), топологія якого наведена на рис. 1, де L – довжина

сторони рівностороннього трикутника, w – ширина лінії живлення, s – відстань між резонатором та лінією живлення, t – товщина металізації, h – товщина діелектричної підкладки. У фронтальній площині структура є симетричною.

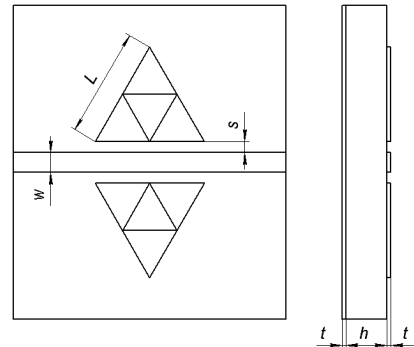


Рис. 1. Топологія смугозагороджувачого фільтра НВЧ на трикутних резонаторах

Довжина сторони рівностороннього трикутного резонатора залежить від центральної частоти фільтра, що проектується, та значення діелектричної проникності підкладки, і попередньо визначається відповідно до методики, наведеної в роботі [7]. Товщина діелектричної підкладки та товщина шару металізації обирається відповідно до особливостей технологічного процесу виробництва на підприємстві. Відстань між резонатором та лінією живлення визначає ширину смуги загородження.

Було проведено дослідження СЗФ на основі трикутних резонаторів (рис. 2). В результаті проведених розрахунків та моделювання в системах електромагнітного аналізу електронних пристроїв, нами було запропоновано конструкцію двосмугового фільтра з центральними частотами 8,1 та 12,2 ГГц та смугами пропускання в 7,3 та 2,8% відповідно. На рис. 2, а–в показано вид моделі СЗФ на трикутних резонаторах з нульовою, другою та третьою ітерацією фракталу відповідно, амплітудно-частотна характеристика фільтрів наведена на рис. 2, г.

При синтезі топології смугозагороджувачих фільтрів НВЧ може бути використано алгоритм, блок-схема якого наведена на рис. 3. Після проведення першої ітерації фрактальної реалізації необхідно провести аналіз відповідності центральної частоти змодельованого фільтра технічному завданню, і при необхідності провести оптимізацію топології шляхом зміни геометричних розмірів окремих елементів: розмірів трикутного резонатора, ширини лінії живлення та відстані між ними. Для цього можна використати модулі оптимізації, запропоновані в таких системах електромагнітного моделювання, як High Frequency System Simulator або Microwave Studio.

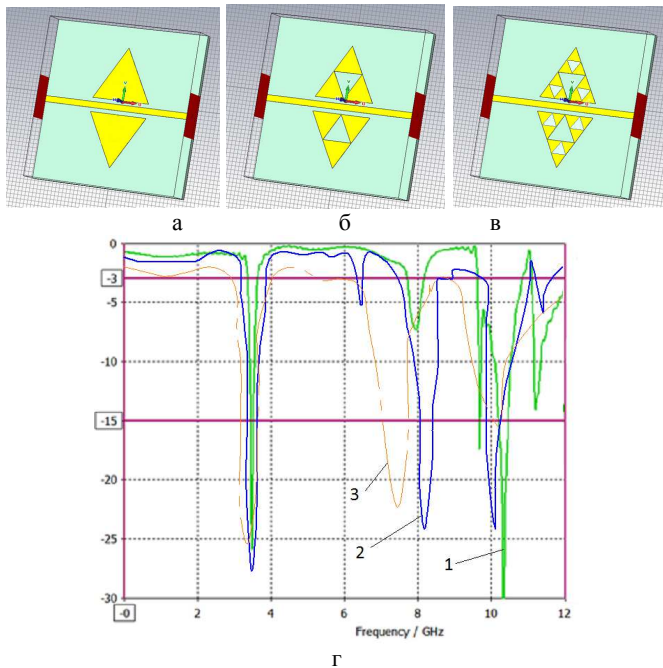


Рис. 2. СЗФ на трикутних резонаторах з фрактальною геометрією: а – нульова ітерація; б – перша ітерація; в – друга ітерація; г – АЧХ проаналізованих СЗФ: 1 – нульова ітерація, 2 – перша ітерація, 3 – друга ітерація

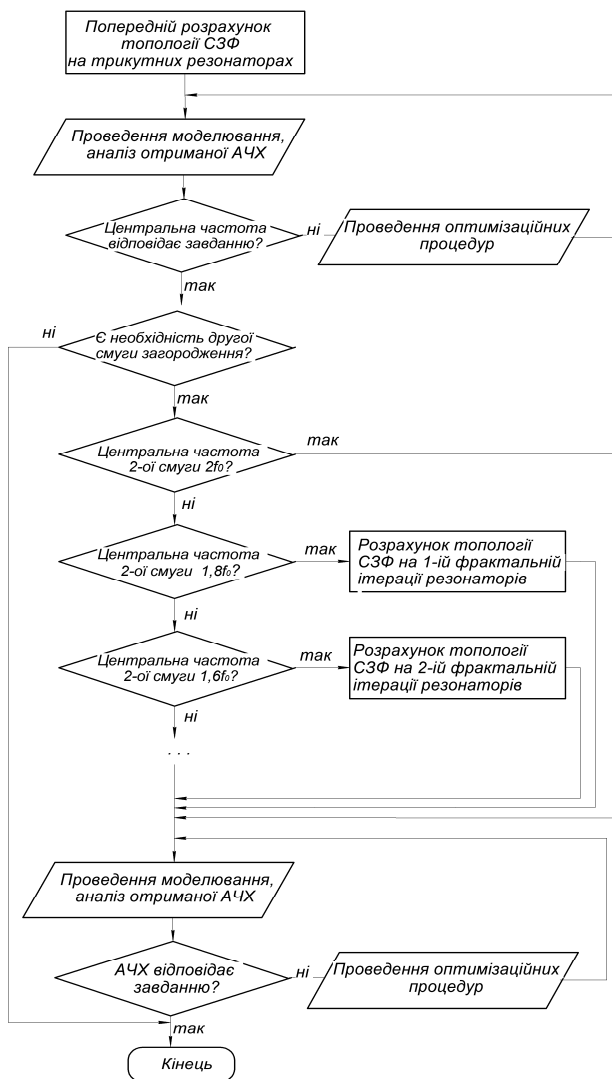


Рис. 3. Блок-схема проектування СЗФ на трикутних резонаторах у фрактальній реалізації

Процес синтезу фільтра з фрактальною реалізацією резонаторів завершується при досягненні оптимальних значень після аналізу отриманої амплітудно-частотної характеристики синтезованого фільтра.

Проектування мікросмужкових фільтрів з фрактальною реалізацією резонаторів шпилькового типу

Мікросмужкові фільтри на резонаторах шпилькового типу характеризуються малими габаритами та високою технологічністю виготовлення [8].

Для попереднього розрахунку параметрів смугопрускаючого фільтра (СПФ) на шпилькових резонаторах використовується метод проектування фільтрів на зв'язаних лініях на основі фільтрів-прототипів нижніх частот за методиками, запропонованими в [9, 10]. Після цього необхідно провести попереднє моделювання фільтра НВЧ в одній із систем електромагнітного моделювання для відповідності оцінки частотних характеристик моделі фільтра, створеної за розрахованими значеннями геометричних параметрів, бажаним значенням. При необхідності проводиться оптимізація відстані між окремими резонаторами.

Нами було проведено дослідження СПФ на основі шпилькових резонаторів з використанням фрактальної геометрії, запропонованої в [11]. Вигляд топології фільтра у при нульовій, першій та другій фрактальній ітерації наведено на рис. 4, а – в, відповідно. Проведене електромагнітне моделювання дало наступні результати (рис. 4, г). При збільшенні номеру ітерації відбувається зміщення другої смуги пропускання з частоти $2f_0$ до частоти $1,8f_0$ та $1,5f_0$ при нульовій, першій та другій ітерації відповідно. При цьому також спостерігається зниження рівня сигналу на другій смузі пропускання.

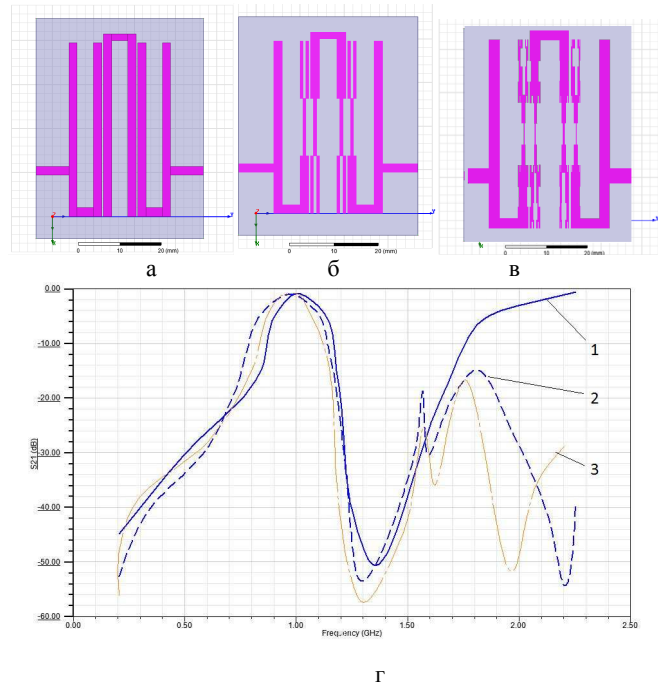


Рис. 4. СПФ на шпилькових резонаторах з фрактальною геометрією: а – нульова ітерація; б – перша ітерація; в – друга ітерація; г – АЧХ проаналізованих СПФ: 1 – нульова ітерація, 2 – перша ітерація, 3 – друга ітерація

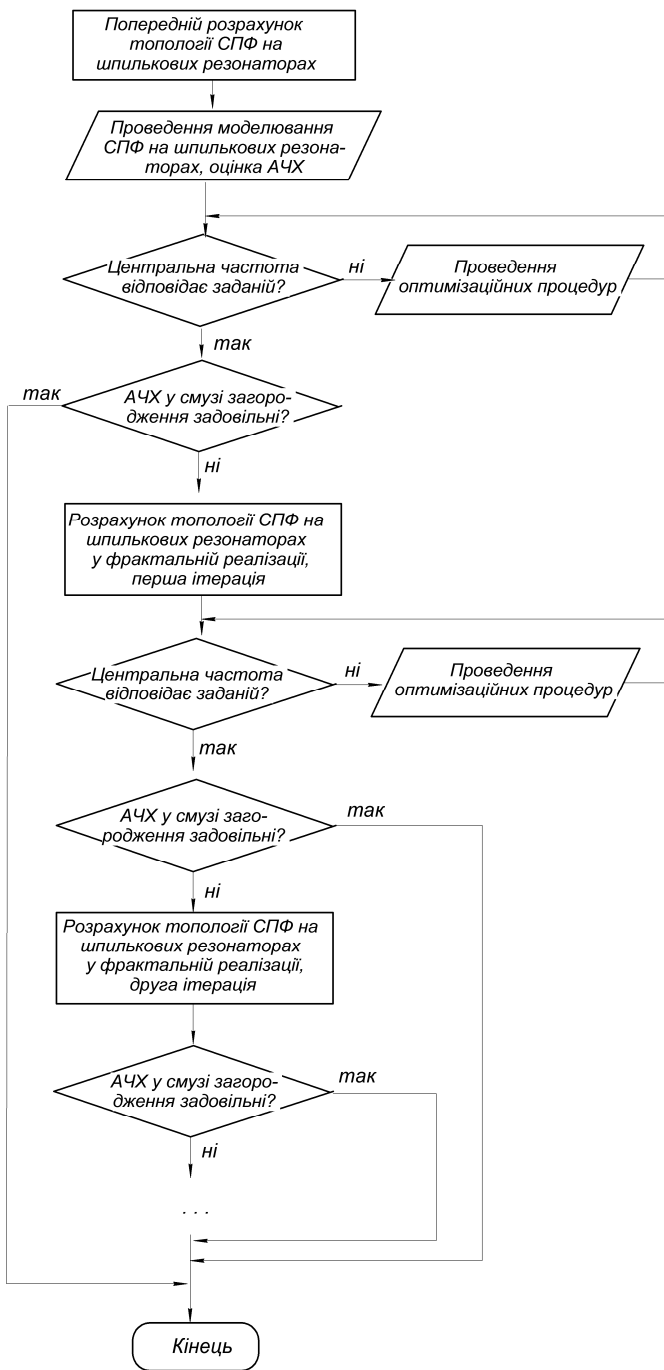


Рис. 5. Блок-схема проектування СПФ на шпилькових резонаторах у фрактальній реалізації

Висновки

Відповідно до отриманих результатів, можна зробити висновок щодо проектування мікросмужкових фільтрів з використанням фрактальної геометрії при необхідності отримання двох смуг пропускання (загородження) так, щоб друга смуга пропускання (загородження) мала центральну частоту нижче за $2f_0$, причому номер ітерації фрактальної реалізації тим більший, чим нижча центральна частота другої смуги пропускання (загородження).

Також фрактальна геометрія при проектуванні мікросмужкових фільтрів може застосовуватися для зниження рівня паразитних смуг, при цьому таке рішення конструкції фільтра відрізняється відсутністю необхідності збільшення габаритних розмірів фільтра в цілому.

Використання фрактальної реалізації фільтрів має обмеження (алгоритм обмеження представлено на рисунку 5), пов'язані із можливістю технологічної реалізації окремих елементів топології. Проте у ряді випадків цілком задовільних результатів щодо крутизни характеристики та покращення придушення у смузі загородження можна досягти вже на другій або третій ітерації, при цьому отримані в результаті проектування розміри елементів топології можуть бути реалізовані з використанням типових технологічних процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Фарафонов, О.Ю. Проектування фільтрів на основі фракталів/ О.Ю. Фарафонов, Н.І. Фурманова// Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції (17–19 вересня 2014 р., м. Запоріжжя). – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – с. 313-314
2. Фурманова, Н.І. Побудова мікросмужкових фільтрів на основі фракталів / Н.І. Фурманова // «Фізика, електроніка, електротехніка – 2014»: Матеріали та програма науково-технічної конференції (Суми, 21-26 квітня 2014 року). – С. 167.
3. Потапов, А.А. Фракталы, скейлинг и дробные операторы в физике и радиотехнике/ А.А. Потапов// Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 2009. – с. 64 – 108.
4. Chen, W.-L. Fractal shaped Hi-Lo microstrip low pass filters with high pass band performance / W.-L. Chen, G.-M. Wang, Y.-N. Qi // Microw. and opt. technology letters. – 2007. – Vol.49, №10. – P. 2577–2579
5. Chen, W.-L. Effective design of novel compact fractal-shaped microstrip coupled-line bandpass filters for suppression of the second harmonic/ W.-L. Chen, G.M. Wang// IEEE microwave and wireless compon. lett. –2009. – Vol.19, №2. – P.74–76
6. Xiao, J.-K. Novel microstrip triangular resonator filter with transmission zeros and wide bands using fractal-shaped deflection / J.-K. Xiao, Q.-X. Chu// Progress in electromagnetics research. –2007. – PIER 77. –P. 343–356
7. Hong, J.-S. Theory and experiment of dual-mode microstrip triangular patch resonators and filters/ J.-S. Hong, S. Li// IEEE transactions microwave theory tech. –2004. – Vol.52, №4. – p. 1237–1243
8. Петрова, Е.В. Разработка упрощённого алгоритма проектирования микрополосковых ППФ на шпильчатых резонаторах с отверстиями в экранирующем слое на основе электродинамического анализа в программе Ansoft HFSS/ Е.В. Петрова, Н.И. Фурманова, А.Ю. Фарафонов// Радиоелектроніка, Інформатика, Управління. – 2012. – № 1. – С. 14–18.
9. Маттей, Д.Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи/ Д.Л. Маттей, А. Янг, Е.М. Джонс. – Т. 1.– М.: Связь, 1971. – 439 с.
10. Малорацкий, Л.Г. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях/ Л.Г. Малорацкий, Л.В. Явич. – М.: Советское радио, 1972. – 232 с.
11. Baral, R.N. Design of microstrip band pass fractal filter for suppression of spurious band/ R.N. Baral, P.K. Singhal// Radioengineering. – 2008. – Vol. 17, №4. – P.34–38