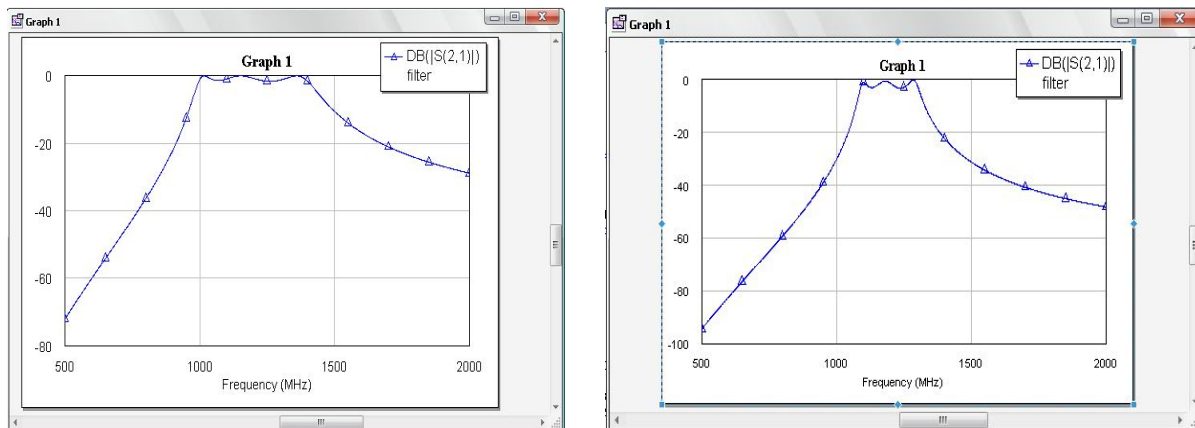


тей C_3 , C_5 , C_7 призводить до зміни резонансної частоти фільтру (зменшення цих ємностей призводить до збільшення частоти і навпаки). Зміна ємностей C_4 , C_6 дозволяє регулювати ширину смуги пропускання: збільшення значень цих ємностей призводить до розширення смуги пропускання, тоді як зменшення - до звуження.



а

б

Рис.3

Алгоритм налаштування фільтрів за допомогою розробленого програмного забезпечення дає змогу спостерігати поведінку характеристики АЧХ в смузі частот при зміні параметрів відповідних конструктивних елементів та використовувати отриману інформацію для налаштування реальних конструкцій фільтрів. При цьому суттєво спрощується процес ладнання та скорочується час, необхідний для отримання заданих характеристик фільтру. Даний алгоритм може бути застосований для ладнання багатьох типів фільтрів та диплексорів.

Література

1. Filters-Components-Modules for Communication Equipment // Catalog № 081E2. "Murata". July, 2007.
2. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Кушнир А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. М., 1992.

Андрусенко Є.М., Задворний А.В. Алгоритмізація процесу ладнання коаксіальних діелектричних фільтрів. Наведено алгоритм ладнання коаксіальних діелектричних фільтрів. Алгоритм реалізовано на базі програмного пакету Microwave Office. Підтверджена ефективність представленого алгоритму.

Ключові слова: смугово-пропускнуий фільтр, діелектричний фільтр.

Андрусенко Е.Н., Задворный А.В. Алгоритмизация процесса настройки коаксиальных диэлектрических фильтров. Алгоритм реализован на базе программного пакета Microwave Office. Подтверждена эффективность представленного алгоритма.

Ключевые слова: частотно-пропускающий фильтр, диэлектрический фильтр.

Andrusenko E.N., Zadvorniy A.V. Adjustment algorithm for coaxial dielectric filters. Adjustment algorithm for filters by the instrumentality software Microwave Office are presented.

Key words: band pass filter, dielectric filter

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОРЕЗОНАТОРНИХ МОНОЛІТНИХ МЕТАЛОДІЕЛЕКТРИЧНИХ ФІЛЬТРІВ

Боженко К.О.¹

Проектування смугово-пропускних фільтрів на зв'язаних короткозамкнених коаксіальних діелектричних резонаторах (ФКДР) та монолітних металодіелектричних фільтрів (МФ), які в першому наближенні можна вважати аналогами, у своїй основі базується на методах класичного синтезу частотно-вибіркових структур [1,2]. В узагальненому вигляді цей процес можна подати наступним алгоритмом.

Перше. На підставі загальнотеоретичних знань з електродинаміки, експериментальних досліджень [1] та технологічних можливостей визначаються основні конструктивні розміри керамічної заготовки.

Друге. Методами класичного синтезу поліноміальних фільтрів визначаються значення ємностей, що є елементами зв'язку між резонаторами та з зовнішніми колами (вхідною та вихідною лініями передачі).

Третє. Розраховуються (методами електродинаміки) або визначаються на підставі спеціально поставлених експериментальних досліджень геометричні розміри відповідних конструктивних елементів, що реалізують вказані елементи зв'язку.

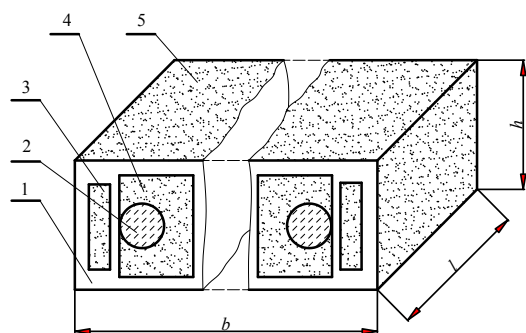


Рис. 1.

Для ефективного використання такого алгоритму перш за все необхідно розробити модель фільтру, що проектується, у вигляді еквівалентної схеми та поставити у відповідність елементам цієї схеми елементи перетвореного фільтру-прототипу. В рамках даної статті розглядатимемо перші два етапи алгоритму проектування МФ.

На рис. 1 наведений один з варіантів конструктивного виконання МФ. Фільтр являє собою керамічну заготовку 1, яка з п'ятих сторін вкрита шаром металу 5 (зазвичай сріблом, іноді міддю). У цій заготовці є наскрізні отвори 2, які являються центральними провідниками резонаторних ліній передачі, та з'єднані з одного боку з шаром металізації 5. Ці отвори також з'єднані з металевими площадками 4, що нанесені на одну з поверхонь заготовки і є елементами міжрезонаторного зв'язку або елементами зв'язку з вхідним та вихідним причому в останньому випадку для реалізації зв'язку використовується і площадка 3.

На рис. 2 подана еквівалентна схема МФ, що побудована за принципа-

¹ Робота виконана під науковим керівництвом к.т.н., доц. Мірських Г.О.

ми, детально розглянутими в [2]. На рис. 3 наведена схема перетвореного фільтру-прототипу.

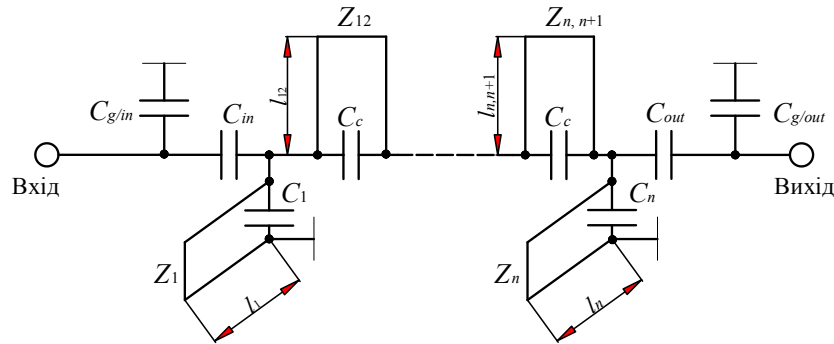


Рис. 2.

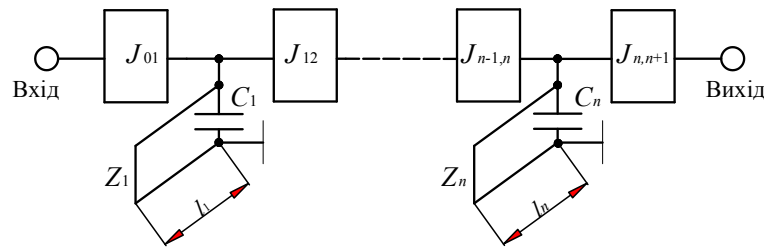


Рис. 3.

Відомо [2], що елементи схеми, наведеної на рис. 3, визначаються через елементи вихідного (до перетворення) фільтру-прототипу як

$$J_{01} = \sqrt{\frac{G_{in} b_1 w}{g_0 g_1}}; \quad \forall (i = 1, \dots, n-1) J_{i,i+1} = w \sqrt{\frac{b_i b_{i+1}}{g_i g_{i+1}}}; \quad J_{n,n+1} = \sqrt{\frac{G_{out} b_n w}{g_n g_{n+1}}},$$

де b_i - параметр крутизни реактивної провідності; $w = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0}$ - відносна

ширина смуги пропускання; $\omega_0, \omega_1, \omega_2$ - центральна та граничні частоти смуги пропускання (граничні частоти визначаються відповідно [2]); g_i - елемент прототипу нижніх частот.

Параметри крутизни реактивної провідності можна визначити як

$$\forall (i = 1, \dots, n) b_i = Y_r \frac{\text{ctg} \theta_0 + \theta_0 \text{csc} \theta_0}{2},$$

де θ_0 - електрична довжина резонаторних ліній передачі на середній частоті смуги пропускання, Y_r - хвильова провідність резонаторних ліній передачі.

Таким чином, перший етап розв'язання задачі синтезу МФ полягає в тому, щоб визначити параметри інверторів $J_{01}, J_{12}, \dots, J_{n-1,n}, J_{n,n+1}$, через значення відповідних елементів еквівалентної схеми МФ (рис. 2). Розглянемо інвертор J_{01} , за допомогою якого здійснюється зв'язок першого резонатора фільтру з вхідною лінією передачі. В еквівалентній схемі фільтру

величина цього зв'язку визначається елементами $C_{g/in}$, C_{in} , при цьому слід враховувати, що провідність G_0 , що підключена до входу МФ тракту, має бути перетворена за допомогою інвертора J_{01} до входу першого резонансного елемента МФ як $G_{in} = \frac{J_{01}^2}{G_0}$.

Вимогам щодо властивостей інвертора задовольняє схема [2], подана на

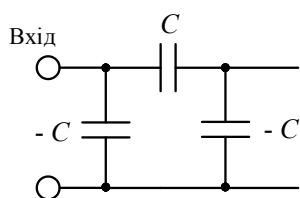


Рис. 4.

рис. 4. При цьому $J_{01} = \omega C$. Відмітимо, що негативні значення ємностей в паралельних гілках схеми рис. 4, при реалізації МФ додаються до позитивних значень конструктивних ємностей. З цієї точки зору для реалізації характеристик МФ

максимально наближених до характеристик фільтру-прототипу необхідно виконання умови $C_{g/in} = C$. Негативний характер ємності інвертора з боку першого резонансного елемента призводить до зміщення його резонансної частоти, що компенсується в процесі ладнання фільтру. Аналогічно розраховується і інвертор, що з'єднує з зовнішнім трактом вихідний резонатор.

Міжрезонаторний зв'язок у наведеній на рис. 1 конструкції МФ здійснюється (див. [3]) за рахунок електромагнітного зв'язку між центральними провідниками (металізованими отворами) резонаторів та ємнісного зв'язку між контактними

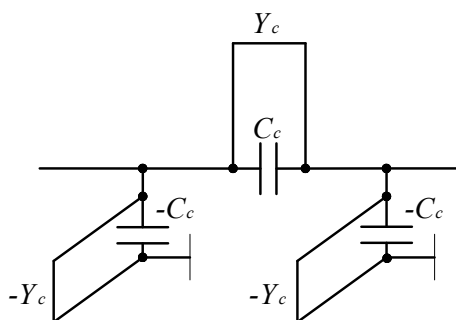


Рис. 5

площадками 4 (див. рис.1). З метою реалізації необхідної величини міжрезонаторного зв'язку за допомогою вказаних елементів, їх слід "вписати" в одну з відомих схем інверторів [2]. Вважатимемо, що між резонаторний зв'язок обумовлюється виключно сусідніми резонаторними лініями передачі. За цієї умови в даній конструкції для реалізації інвертора можна вибрати схему, наведену на рис. 5. Цей інвертор складається з двох паралельно включених інверторів, один з яких повністю відповідає схемі, показаній на рис. 4, а другий містить відрізки ліній передачі, два з яких відрізняються негативною хвилевою провідністю. Величину хвилевої провідності Y_c цих відрізків ліній передачі можна розрахувати як $Y_c = \frac{2}{Y_{oe} - Y_{oo}}$, де

Y_{oe} , Y_{oo} - відповідно непарна та парна провідність зв'язаних резонаторних ліній фільтру.

Використання наведеної на рис. 5 схеми інвертора, в реальних конструкціях не викликає утруднень, бо відповідна негативна хвильова провід-

ності Y_c цих відрізків ліній передачі можна розрахувати як $Y_c = \frac{2}{Y_{oe} - Y_{oo}}$, де Y_{oe} , Y_{oo} - відповідно непарна та парна провідність зв'язаних резонаторних ліній фільтру.

Використання наведеної на рис. 5 схеми інвертора, в реальних конструкціях не викликає утруднень, бо відповідна негативна хвильова провід-

ність інвертора додається до позитивної хвильової провідності відповідної лінії передачі, що утворює резонатор. Це, звичайно, слід враховувати при виборі хвильової провідності Y_r резонаторів. Відмітимо, що хвильова провідність резонаторів, за звичай, вибирається з умови отримання максимальної добротності останніх і для наведеного конструктивного виконання МФ становить величину близьку до 70 Ом. Ця величина цілком прийнятна для забезпечення всіх технологічних вимог до прес-форми при відносній діелектричній провідності широкоживаного матеріалу заготовки 37.

Наведені співвідношення дозволяють з достатньої точністю реалізувати перший та другий етапи наведеного вище алгоритму проектування МФ. При цьому наведені еквівалентні схеми МФ дозволяють прогнозувати характеристики в смузі як пропускання, так і загородження. Крім того ці схеми відкривають можливість побудови алгоритму ладнання МФ, що дозволить суттєво знизити похибки у фінішних операціях технологічного процесу виготовлення МФ, зменшити термін та вартість робіт з навчання відповідного виробничого персоналу.

Для формування завершення алгоритму проектування МФ необхідно розроблення ефективного методу розрахунку геометричних розмірів елементів зв'язку резонаторів з зовнішніми колами та між собою, а також ефективні технологічні прийоми реалізації відповідних елементів, що забезпечують вказані зв'язки.

Література

1. Мірських Г.О., Андрусенко Є.М. Експериментальне дослідження монолітних діелектричних фільтрів з додатним характером зв'язку резонансних елементів // Вісник НТУУ "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. Вип. 38 – 2009 – С. 65 – 69.
2. Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 1. М.: 1971. – 444 с.
3. Chong-Yun Kang, Ji-Won Choi, Seok-Jin Yoon, Hyun-Jai Kim, Chang-Yub Parc. Design of monoblock dielectric filter using (PbCa)(FeNbSn)O₃ ceramics // Journal of materials science: Materials in electronics. No 10 (1999), pp. 661-666

Боженко К.О. Моделивання багаторезонаторних монолітних металодіелектричних фільтрів. Представлена математична модель та еквівалентна схема багаторезонаторного монолітного діелектричного фільтру, яка описує його амплітудно-частотну характеристику як у смузі пропускання так і поза неї.

Ключові слова: НВЧ фільтр, керамічні фільтри, діелектричні монолітні фільтри

Боженко К.А. Моделирование многорезонаторных монолитных металлодиэлектрических фильтров. Представлена математическая модель и эквивалентная схема многорезонаторного монолитного металлодиэлектрического фильтра, которая описывает его амплитудно-частотную характеристику, как в полосе пропускания, так и за её пределами.

Ключевые слова: СВЧ фильтр, керамические фильтры, монолитные фильтры

Bogenko K.A. Model of the Multi-Resonator Monolithic Metal-Dielectric Filter. Mathematic model and equivalent circuit of the multi-resonator monolithic metal-dielectric filter are described. This model describes the amplitude frequency characteristic both in band-pass and stop-pass.

Key words: UHF filter, ceramic filter, dielectric monolithic filter