

ТЕХНІКА ТА ПРИСТРОЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ. АНТЕННА ТЕХНІКА

УДК 621.39

МОДЕЛЬ ДВОРЕЗОНАТОРНОГО МОНОЛІТНОГО МЕТАЛОДИЕЛЕКТРИЧНОГО ФІЛЬТРУ¹

Боженко К.О., Андрусенко Є.М.

Смуго-пропускні монолітні металодіелектричні фільтри (див., наприклад, [1]) знайшли на сьогодні широке застосування в системах навігації та мобільного зв'язку. Складність проектування таких монолітних фільтрів (МФ), пов'язана зі складністю вирішення відповідної електродинамічної задачі з визначення їх амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) за геометричними та електрофізичними параметрами, що, за звичай призводить до значного обсягу дослідно-експериментальних робіт, стримує подальше розповсюдження МФ, особливо у випадках їх використання в апаратурі не масового виробництва. Ефективність відповідних програмних продуктів та обчислювальних засобів, що на сьогодні можуть бути використані для вирішення задачі проектування МФ багато в чому залежить від прийнятої математичної моделі МФ та точності початкового наближення. Зважаючи на широке застосування МФ в схемах дуплексерів, в процесі розроблення математичної моделі необхідно приділяти увагу її адекватності як в смузі пропускання МФ, так і поза неї. Побудова узагальненої математичної моделі для всього класу МФ – задача багатоваріантна та громіздка. Більш реальним є розроблення математичної моделі кожного окремого типу МФ.

Постановка задачі

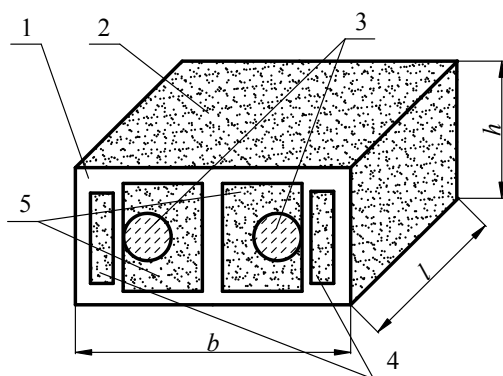


Рис. 1.

В рамках даної статті на прикладі дворезонаторного фільтру, конструкція якого наведена на рис. 1, розглянемо один з можливих принципів побудови математичної моделі МФ. Такий монолітний фільтр представляє собою керамічну заготовку 1, суцільно покриту шаром 2 металізації (наприклад, сріблом) з п'ятих боків, як показано на рис. 1. В керамічній заготовці сформовані наскрізні отвори 3, металізація яких з'єднана з загальним шаром металізації 2. Ці отвори є центральними провідниками резонаторних ліній передачі. На одній з торцевих поверхонь ке-

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

рамічної заготовки нанесені металеві площадки 4 та 5, причому площадки 5 з'єднані з металізацією отворів 3. Площадки 4 слугують для підключення фільтру до зовнішніх кіл (вхідної та вихідної ліній передачі) та є елементом зв'язку резонаторів з цими колами. Площадки 5 реалізують складову міжрезонаторного зв'язку, та (сумісно з площадками 4) зв'язок зовнішніх кіл з резонаторами.

Теоретичні дослідження

В МФ резонаторами є відрізки ліній передачі, що закорочені з одного кінця, з іншого - навантажені на заземлені ємності C_i ($i = 1, 2$), які утворені між площадками 5 та металізацією бокових поверхонь керамічної заготовки. Зв'язок між резонаторами здійснюється за рахунок розподіленого зв'язку відповідних відрізків ліній передачі та спеціально введеного елементу "зосередженого" зв'язку – ємності між площадками 5 (див.рис. 1). Наявність зосередженої ємності призводить до того, що довжина відрізка лінії, що утворює резонатор (резонаторних ліній) на резонансній частоті

фільтру буде менша за чверть довжини відповідної хвилі - $\frac{\lambda_0}{4}$ (де λ_0 - до-

вжина хвилі в середовищі розповсюдження на середній частоті смуги пропускання), і тому зв'язок між резонаторами матиме переважно магнітний характер. Звичайно, що за умови відсутності навантажувальних ємностей,

довжина резонаторних ліній в точці резонансу точно дорівнювала б $\frac{\lambda_0}{4}$ і

структура не мала б смуги пропускання [2]. З наведених причин, конструктивне виконання МФ з більшими значеннями C_i відрізняється меншими габаритними розмірами.

Оскільки структура МФ складається, переважно, з відрізків взаємозв'язаних ліній передачі, для її аналізу доречно використати відомі [2,3] методи,

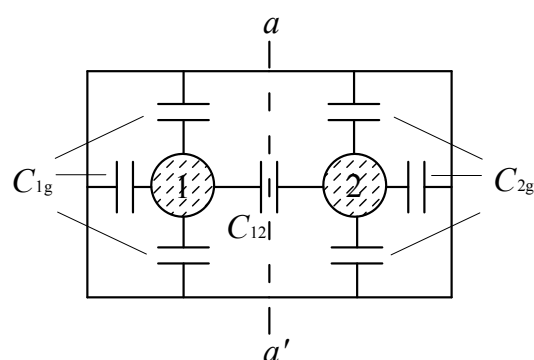


Рис. 2.

що ґрунтуються на представленні поля сумарної хвилі в системі зв'язаних ліній передачі як суперпозицію полів двох типів (мод) хвиль – парної та непарної. Характеристичні імпеданси Z_e , Z_o цих хвиль за припущенням поперечно регулярної структури (припущення існування у системі ТЕМ хвилі) визначаються статичними ємностями між металізованими отво-

рами та боковими металізованими поверхнями керамічної заготовки (див. рис. 2, де $a - a'$ - площина симетрії структури). Повна статична ємність на

одиницю довжини резонаторних ліній визначається взаємною (між 1-м і 2-м резонаторами) ємністю C_{12} (на одиницю довжини) та ємністю C_g металізованого отвору на металізовані бокові поверхні заготовки (знову ж на одиницю довжини).

З рис. 2 видно, що за умови непарної моди (в площині $a - a'$ - "електрична" стінка)

$$C_o = C_g + 2C_{12}. \quad (1)$$

А за умови парної моди (в площині $a - a'$ - "магнітна" стінка)

$$C_e = C_g. \quad (2)$$

На підставі (1) і (2) з урахуванням [3], для міжрезонаторної ємності матимемо

$$C_{12} = \frac{C_o - C_e}{2}. \quad (3)$$

Відомо [3], що характеристичний імпеданс Z ТЕМ хвилі зв'язаний з повною ємністю C на одиницю довжини лінії співвідношенням

$$Z = \frac{1}{vC}, \quad (4)$$

де v - швидкість електромагнітних хвиль в середовищі розповсюдження.

На підставі (3) та (4) можна визначити імпеданс лінії передачі, пов'язаної з міжрезонаторною ємністю C_{12} , а саме

$$Z_{12} = \frac{2Z_e Z_o}{Z_e - Z_o}, \quad (4)$$

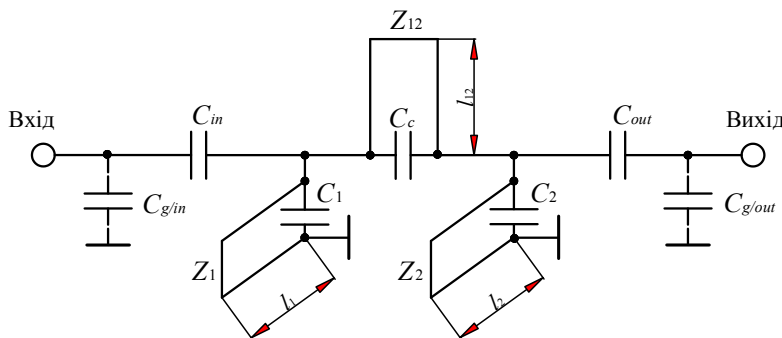


Рис. 3.

Наведені міркування та співвідношення дозволяють подати еквівалентну схему МФ з двома резонаторами як показано на рис. 3.

Резонаторні відрізки ліній передачі з хвилевим опором

$Z_r = Z_1 = Z_2$ та електричною довжиною $\theta_1 = \theta_2 = \theta_r$ ($l_1 = l_2 = l_r$) зв'язані з вхідною та вихідною лініями передачі зосередженими ємностями $C_{in} = C_{out} = C_0$. В реальних конструкціях МФ відкриті кінці резонаторних ліній, за звичай, навантажені на зосереджені ємності C_1, C_2 (часто

$C_1 = C_2 = C_r$), які утворюються між елементами міжрезонаторного зв'язку (елементи 5 на рис. 1) та металізацією бокових поверхонь керамічної заготовки (або відкритим кінцем резонаторних ліній передачі). Крім того, елементи зв'язку резонаторів з зовнішніми колами (елементи 4 на рис. 1) часто утворюють ємності $C_{g/in}$, $C_{g/out}$. Ці ємності не тільки впливають на добротність зв'язку резонаторів із зовнішніми колами (це, взагалі кажучи, можна врахувати в процесі синтезу), але і спотворюють схему відповідного сходового прототипу, який є базовим при реалізації алгоритмів синтезу, що, за звичай, призводить до ускладнення процесу ладнання фільтру.

Міжрезонаторний зв'язок реалізується навантаженим на зосереджену ємність C_c відрізком лінії передачі з електричної довжиною θ_{12} та хвильовим опором Z_{12} . Зосереджена ємність C_c сформована відповідними елементами металізації (елементи 5 на рис. 1) на торцевій поверхні керамічної заготовки. Видно, що цей відрізок ліній передачі включений до структури фільтру таким чином, що на деякій частоті ω_{12} , яка відповідає електричній довжині θ_{12} , спричинятиме сплеск загородження. Цей сплеск в реальних конструкціях, де відстань між центральними провідниками резонаторних ліній передачі – отворами – приблизно вдвічі більша за товщину керамічної заготовки, може розміщуватися як нижче, так і вище резонансної частоти фільтру. А саме, збільшення ємності C_c призводить до зниження частоти ω_{12} вказаного резонансу. Зменшення C_c , як і зменшення C_{12} , призводить до підвищення ω_{12} . Як показано в [4], зменшення C_{12} можна досягти формуючи вільні від металізації пази або отвори в керамічній заготовці на проміжку між металізованими отворами – центральними провідниками резонаторних ліній передачі (на рис. 1 - між площадками 5).

Звичайно, для використання наведеної математичної моделі в процесі проектування МФ, її елементи мають визначатися відповідними методами електродинаміки.

Експериментальні дані

Нами проведені дослідження на підтвердження адекватності отриманої математичної моделі МФ. Для визначеного конструктивного виконання дворезонаторного МФ проведені вимірювання його АЧХ в діапазоні частот, який достатньо великий для виявлення особливостей змінення АЧХ поза смугою пропускання. Результати наведені на рис. 4 - 6. На рис. 4 показано АЧХ фільтру, в конструкції якого відсутній паз між площадками 5 (див. рис. 1), що відповідає суттєвій величині ємності C_c . Видно, що в смузі загородження (нижче смуги пропускання) АЧХ має пік затухання. В подальшому (рис. 5 та 6) між вказаними площадками 5 формувалася паз. Збі-

льшення глибини цього пазу спричиняє зменшення ємностей C_c і C_{12} , що відповідно до розробленої математичної моделі призводить до переміщення піку затухання в область більш високих частот (рис. 5), причому, істотно, відбувається деградація АЧХ фільтру.

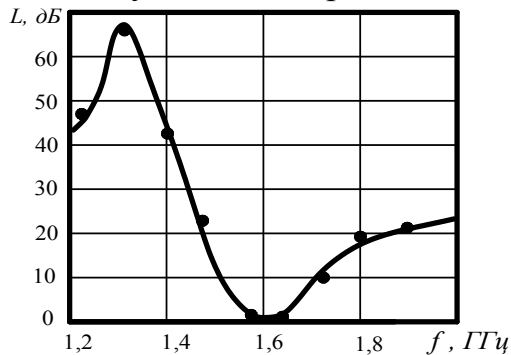


Рис. 4.

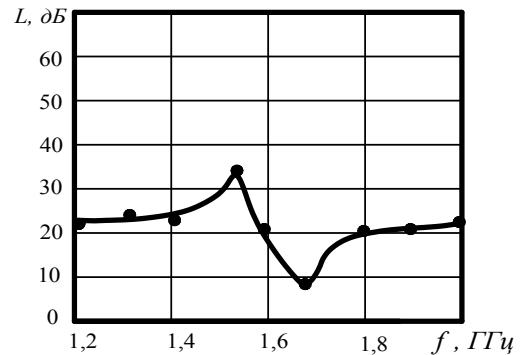


Рис. 5.

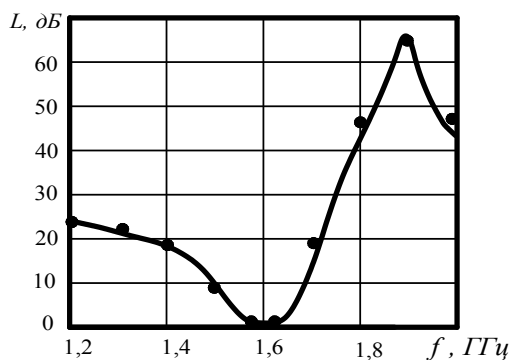


Рис.6.

В процесі поглиблення пазу, після переміщення піку затухання в область вище смуги пропускання, АЧХ фільтру в смузі пропускання поступово повновлюється до рівня який передував формуванню пазу (див. рис. 6). На рис. 4-6 експериментальні дані позначені "крапками". Суцільні криві нанесені умовно. Відмітимо, що розрахункові результати відповідають на якісному

рівні наведеним експериментальним даним. Порівняння розрахункових та експериментальних даних утруднюється (в тому числі) через неможливість точного визначення геометричних розмірів пазу, формування якого здійснювалось циліндричною фрезою малого діаметру за використання її ручної орієнтації відносно керамічної заготовки.

Висновки

Розроблена математична модель МФ, за допомогою якої можна пояснити всі особливості АЧХ фільтру як в смузі пропускання так і поза неї. При цьому відкривається можливість вже на ранніх стадіях проектування прогнозувати форму АЧХ фільтрів в смузі загородження, що спрощує конструкцію та підвищує якісні показники діплексерів, у складі яких часто використовуються МФ.

Представлена математична модель МФ в рамках подальшого дослідження з метою отримання інформації щодо її адекватності для багаторезонаторних конструкцій та при варіативності конструктивних параметрах може слугувати основою як для проектування МФ так і для розроблення алгоритмів їх ладнання з використанням інформаційних технологій.

Література

1. Dielectric Filters and Diplexers // Catalog of the production firm T-CERAM. 2009. Ре-сурс доступу: www.t-ceram.com/coaxial-resonators.htm
2. Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи свя-ти. Т. 1. М.: 1971. – 444 с.
3. Chong-Yun Kang, Ji-Won Choi, Seok-Jin Yoon, Hyun-Jai Kim, Chang-Yub Parc. De- sign of monoblock dielectric filter using (PbCa)(FeNbSn)O₃ ceramics // Journal of materials science: Materials in electronics. No 10 (1999), pp. 661-666
4. Мірських Г.О., Андрусенко Є.М. Експериментальне дослідження монолітних діе- лектричних фільтрів з додатним характером зв'язку резонансних елементів // Вісник НТУУ "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. Вип. 38 – 2009 – С. 65 – 69.

Боженко К.О., Андрусенко Є.М. Модель дворезонаторного монолітного металодіе- лектричного фільтру. Представлена математична модель дворезонаторного моно- літного діелектричного фільтру, яка описує його амплітудно-частотну характе- ристику як у смугі пропускання так і поза неї.

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

Боженко К.А., Андрусенко Е.Н. Модель двухрезонаторного монолитного металоди- электрического фильтра. Представлена математическая модель двухрезонаторного монолитного металодиэлектрического фильтра, которая описывает его амплитуд- но-частотную характеристику, как в полосе пропускания, так и за её пределами.

Ключевые слова: СВЧ фильтр, керамические фильтры, монолитные фильтры

Bogenko K.A., Andrusenko E.N. Model of the Two-Resonator Monolithic Metal-Dielectric Filter. Mathematic model of the two-resonator monolithic metal-dielectric filter are de- scribed. This model describes the amplitude frequency characteristic both in band-pass and stop-pass.

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

УДК 621.372.413

ОПТИМИЗАЦИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХЗВЕННОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Трубін А.А., Моховиков А.С.

При конструировании высокочастотных фильтров с заданными полоса- ми пропускания в настоящее время широко применяется метод эквива- лентных схем, с помощью которого определяют коэффициенты связи ре- зонаторов по АЧХ. Недостаток этого метода заключается в ограниченно- сти набора заданных характеристик, невозможности оптимального синтеза фильтров с нестандартными параметрами, например, не симметричных. Применение современных методов оптимизации позволяет с единых пози- ций подойти к решению задачи синтеза фильтров. Среди известных мето- дов мултистарта, генетические алгоритмы (ГА) являются наиболее под- ходящими для решения подобных задач, отличаются простотой реализа- ции и приемлемой эффективностью. Кроме того, использование компью- терных программ, основанных на применении ГА, дает возможность вы- полнить поиск оптимальных параметров универсальным способом для разных типов фильтров, не зависимо от вида АЧХ .