

УДК 621.372.852

DOI: 10.18372/2310-5461.39.13090

Ю. П. Бойко, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет
orcid.org/ 0000-0003-2344-3632
e-mail: julia_boyko2010@ukr.net

Т. Ю. Приходько, аспірант
Національний авіаційний університет
orcid.org/ 0000-0001-6909-7697
e-mail: tata@mirohost.net

І. О. Басюк, аспірант
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-2666-1136
e-mail: basya2000@gmail.com

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ФІЛЬТРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НВЧ І ЇХ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ

Вступ

Добре відомо, яку важливу роль відіграють в радіотехніці коливальні системи. Коливальними системами для діапазону надвисоких частот (НВЧ) є резонатори, що являють собою великий і значний клас пристроїв НВЧ.

При розробці радіотехнічних пристроїв часто доводиться стикатися з труднощами, які викликані суперечностями, а іноді і не сумісністю з вимогами, що ставляться до таких пристроїв.

Пристрій може мати задовільні технічні характеристики, але не задовольняти питанню технологічності під час серійного виробництва, або вимогам комплексної мікромініатюризації, чи навпаки. Тому, як правило, при проектуванні, наприклад, бортових систем вдаються до компромісного рішення у виборі конструкції пристрою.

Це зазвичай відноситься і до проектування фільтруючих систем радіотехнічних пристроїв літальних апаратів, а саме, до вибору елементної бази пристрою.

Постановка завдання дослідження

Провести огляд сучасних фільтруючих пристроїв НВЧ, сучасні уявлення про їх основні властивості та методи побудови, оскільки істотним чинником, що визначає проблеми фільтробудування є те, що перехід до інтегральних схем, які містять елементи з розподіленими параметрами, супроводжується рядом небажаних явищ: добротністю, паразитними смугами пропускання і хвильовими типами коливальних.

Дослідження показало, що оптимізація конструктивних параметрів коливальних систем таким чином, щоб змінювались їх частотні характеристики, призведе до зменшення втрат резонаторів.

Аналіз літературних даних і виклад основного матеріалу

Промисловістю досягнуто значного прогресу в використанні досягнень функціональної мікроелектроніки, яка вирішує завдання фізичної інтеграції селективних кіл. Найбільш перспективними напрямками розвитку мікроелектроніки є: кріоелектроніка, акустоелектроніка, магнітоелектроніка. Розглянемо наведені напрямки.

Кріоелектроніка заснована на використанні явища надпровідності при наднизьких температурах, займається застосуванням явищ в твердих тілах при криогенних температурах нижчих за 120 К у присутності електричних, магнітних і електромагнітних полів для створення електронних приладів і пристроїв, що працюють на основі цих явищ.

Кріоелектроніка, в даний час, швидко розвивається, але промисловістю ще не налагоджено виробництво відповідних розробок [2].

Акустоелектроніка вивчає і використовує взаємодію високочастотних (з частотою вище за 20 кГц) акустичних хвиль з електричним полем і електронами в твердих тілах, вона заснована на використанні різних діелектриків: сегнетоелектриків і п'єзоелектриків. Широке застосування знайшли пристрої на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) [1]. Ці пристрої мають хороші частотно-виборчі властивості, надійні, технологічні, малогабаритні. Найбільш поширеними пристроями на поверхневих акустичних хвилях є резонатори і фільтри. Діапазон роботи найбільш відомих зустрічно-штирьових перетворювачів (використовується для перетворення електромагнітних хвиль в поверхневі акустичні хвилі) становить 0,01 ГГц–2 ГГц і обмежується геометричними розмірами електродів.

У радіоелектронних системах обробки і передачі інформації об'ємні акустичні хвилі використовуються в лініях затримки і кварцових резонаторах для стабілізації частоти.

Після створення термостабільної високочастотної кераміки з малими втратами і високим значенням діелектричної проникності ($\epsilon_r > 100$) широке поширення в діапазоні до 10 ГГц отримали фільтри на діелектричних резонаторах (ДР) [3–8]. Їх перевагами є висока технологічність і малі розміри, а недоліком — виникнення паразитних резонансів на частотах, що перевищують максимальну частоту смуги пропускання.

Основним застосуванням твердотільних резонаторів є використання їх в малогабаритних фільтрах різних конструкцій. На основі діелектричних резонаторів зазвичай створюються мініатюрні смугасто-загороджувальні і смугасто-пропускні фільтри, в тому числі, і в інтегральному виконанні.

Принцип побудови смугасто-загороджувальних фільтрів (СЗФ) заснований на використанні зв'язку діелектричного резонатора з узгодженою лінією передачі. При сильному зв'язку проходження електромагнітної енергії зменшується за рахунок відбиття енергії до входу пристрою.

Перспективними є фільтруючі системи на хвилеподібно-діелектричних резонаторах, які при невеликих розмірах дозволяють отримати дуже вузьку смугу пропускання. У праці [9] описаний фільтр такого типу, що дозволяє в діапазоні 10 ГГц отримати величину габаритного індексу $\delta = 0,49$ при ширині смуги пропускання 0,75 %.

У магнітоелектроніці застосовуються феритові резонатори, що мають малі розміри і дозволяють перебудовувати частоту фільтра в широких межах [10; 11]. Зацікавленість до використання в техніці надвисоких частот намагнічених феритових зразків зумовлена такими їх властивостями, як резонансний характер взаємодії з електромагнітним полем і можливість магнітної перебудови резонансної частоти; різноманітна взаємодія з хвилями, магнітні складові яких поляризовані по колу в протилежних напрямках (невзаємність); залежність магнітних властивостей феритового зразка від амплітуди магнітної складової електромагнітного поля (нелінійність). Однак у бортових фільтруючих системах феритові резонатори не знайшли широкого застосування через великі розміри системи підмагнічування, а також наявності паразитних резонансів.

Крім феритів знаходять застосування магнітодіелектрики [12–13]. У зазначених працях показано їх використання в якості поглиначів електромагнітної енергії. Вони являють собою матері-

ал типу феррит-смола, у який вводять металеві волокна. Величина діелектричної проникності регулюється розмірами волокон. Цей поглинач в одношаровому виконанні можна використовувати для придушення різних типів внутрішніх радіоперешкод. Крім того його можна використовувати при створенні вузькосмугових частотно-виборчих пристроїв [14].

В останні роки отримав розвиток ще один клас фільтруючих систем — фільтри на основі діелектричних брусків, у яких використовуються ті чи інші резонансні елементи. Так, у праці [15] запропоновано фільтр у вигляді металізованого діелектричного паралелепіпеду, у якому резонансні елементи виконані у вигляді наскрізних металізованих отворів, розімкнутих з протилежних сторін. Зв'язок із зовнішніми колами здійснюється за допомогою отворів зв'язку. Для таких фільтрів характерна висока технологічність, хороша термостабільність, малий габаритний індекс. Однак недостатньо розроблені методи розрахунку таких фільтрів, що вимагає складних експериментальних доведень.

Великий інтерес являють собою фільтри на сферах ЖПГ, резонатор НВЧ-діапазону на основі феромагнітного резонансу в залізо-ітрієвому гранаті. Їх перспективність полягає в можливості перебудови частоти в широких межах, високодобротні, однак вони мають складну магнітну систему і складні у виробництві (вимагають наукоємних доведень).

Натепер для виробництва НВЧ апаратури переважно використовуються полоскові лінії передачі, оскільки ці лінії найбільш повно задовольняють вимогам комплексної мікромініатюризації [16]. Полоскові системи стають серйозними конкурентами хвилеподібних вузлів, дозволяючи, в ряді випадків, з вигодою скористатися методом друкованих схем для виробництва елементів радіотехнічних пристроїв. Практично двовимірною конфігурацією полоскової лінії дозволяє конструювати мініатюрні схеми, що виконують складні функції, здійснення яких в хвилеподібному виконанні могло б виявитися технологічно дуже важким, а іноді і нездійсненним завданням.

У пристроях НВЧ, зокрема, в фільтрах, найбільш жорсткі вимоги пред'являються до базових елементів. У зв'язку з цим спроби реалізувати багато видів пристроїв частотної селекції виявилися безуспішними, оскільки мініатюрні резонатори на полоскових лініях зазвичай мають низьку добротність і не дозволяють отримати високі рівні режекції і круті фронти амплітудно-частотних характеристик [1–3]. Істотним фактором, що визначає проблеми фільтробудівництва є те, що перехід до інтегральних схем, з наявніс-

тю елементів з розподіленими параметрами, супроводжується рядом небажаних явищ. Що стосується полоскових ліній, то в першу чергу, мова йде про добротність, паразитні смуги пропускання і хвилеподібні типи коливань (вищі типи хвиль). За рахунок збільшення відстані між пластинами або ширини смужки можливе підвищення добротності коливальних систем. Однак існує межа, зумовлена появою хвилеподібних типів коливань. У зв'язку з цими природними фізичними обмеженнями є напівхвильові розміри ширини струмонесучої смужки і відстані між нею і заземленою пластиною (товщина підкладки). Якщо ця вимога не виконується, то вздовж лінії можуть поширюватися вищі типи коливань, створюючи додаткові (паразитні) резонанси, що робить резонатор практично марним.

Зауважимо, що на частотах настільки високих, що довжина хвилі сигналів стає сумірною з розмірами поперечного перетину лінії передачі, виникають нові, відмінні від ТЕМ, типи хвиль. Самі по собі вони не викликають втрату сигналу,

але утворюють небажані фазові спотворення, які обмежують максимальну швидкість.

Найбільшого ефекту слід очікувати від використання полоскових ліній передачі в діапазоні більше 1 ГГц і вище, де у них практично немає конкурентів [3–5]. Функціональні можливості інтегральних мікросхем, що містять елементи на полоскових лініях, досить широкі, оскільки верхня межа застосовності останніх досягає 250 ГГц [38]. Однак, великим недоліком резонансних систем, що виконані на полоскових лініях, розімкнутих на кінці, є наявність втрат на випромінювання. При досить коротких резонаторах близько 90 % втрат зумовлено втратами на випромінювання, а решта 10 % — дисипативними втратами [7].

Виходом з цього положення є включення розімкнутих полоскових резонансних систем на прохід (рис. 1). Виходячи з протиріч, що виникають при конструюванні мініатюрних резонаторів, вони виконуються на напівхвильових і чвертьхвильових відрізках ліній [4].

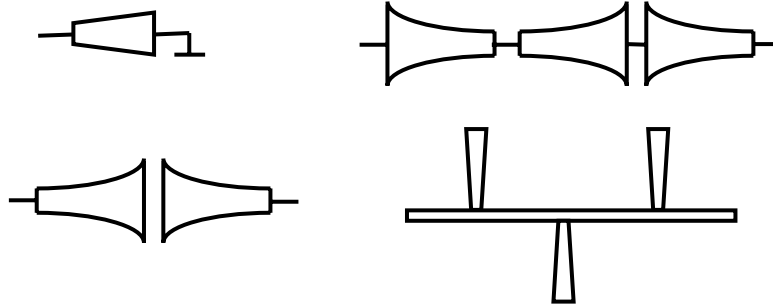


Рис. 1. Приклади включення резонаторів на неоднорідних лініях

Оскільки крім втрат у провіднику і діелектрику максимальна величина добротності полоскової лінії обмежується саме втратами через наявність східчастих неоднорідностей [5; 6], то стає очевидним, що ця обставина є основним фактором, що перешкоджає широкому використанню східчастих резонаторів в частотно-виборчих колах.

В останні роки розвитку теорії і техніки фільтрів на перший план висунуто завдання розробки мініатюрних варіантів резонаторів з поліпшеними електричними характеристиками, такими як висока добротність, необхідна розрядка спектра резонансних частот і т. д., і тим самим підвищеними селективними властивостями [7–9]. Практично вичерпано можливості однорідних (регулярних) ліній в частині створення резонаторів з високими техніко-економічними показниками. Так, центральна частота першої паразитної смуги пропускання досить поширених фільтрів на розімкнутих резонансних відрізках дорівнює подвоєній резонансній частоті, що є істотним недоліком і не дозволяє виконати вимоги ЕМС (електромагнітної сумісності) [13–16]. Дана об-

ставина викликала необхідність впровадження нових методів реалізації кіл з розподіленими параметрами, серед яких можна виділити тенденцію до використання неоднорідних (нерегулярних) ліній передачі. Зміна хвильового опору за координатою дає додатковий степінь вільності при конструюванні кіл різного призначення і дозволяє створити вузли, функціональні можливості яких вище, ніж у аналогічних конструкцій на однорідних лініях [1]. Принципова можливість застосування неоднорідних ліній в якості резонаторів, наприклад, смугасто-пропускних фільтрів з широкими смугами режекції, зумовлена тим, що вони дозволяють отримати збільшену розрядку спектра резонансних частот. Вибором відповідного закону зміни хвильового опору (для полоскових резонаторів — закону зміни ширини провідної смужки уздовж лінії), досягається підвищення добротності резонатора на неоднорідній лінії. Можливі варіанти таких резонаторів і фільтрів показані на рис. 1. Іншим типом фільтруючих систем є фільтри на коаксіальних резонаторах, наведений на рис. 2.

Для підвищення вибіркової фільтрів за рахунок високої добротності резонаторів, найчастіше використовують у вигляді чвертьхвильових короткозамкнених відрізків коаксіальних ліній передачі.

Як правило, вони складаються з декількох резонаторів, короткозамкнених або розімкнених на кінці і пов'язаних між собою індуктивним або ємнісним зв'язком (рис. 2) [9–11]. Для зменшення габаритів резонаторів простір між внутрішнім і зовнішнім провідниками заповнюється діелектричним матеріалом. При цьому габарити резонаторів зменшуються в $\sqrt{\epsilon_r}$ раз.

Такі фільтри мають найменший, з описаних вище, габаритний індекс.

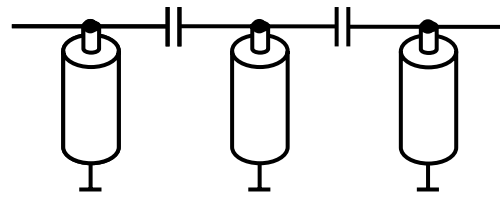


Рис. 2. Коаксіальний фільтр з ємнісними зв'язками

Приклади характеристик фільтрів на коаксіальних резонаторах з різним заповненням наведені в таблиці [12].

Параметри	Резонатор з повітряним заповненням	Резонатор з керамічним заповненням
Частотний діапазон, МГц	300–3000	300–3000
Невантажена добротність резонаторів	1000–1100	750–900
Ширина смуги пропускання на рівні 3 дБ, %	10–15	7–16
Ширина смуги пропускання на рівні 30 дБ, %	20–30	20–40
Внесені втрати, дБ	0,8–1,5	1–1,5
Габарити, мм	150×100×60	40×15×12
Вага, г	450–500	20–25
Вартість, \$	70–80	5–6

Огляд літературних джерел показав, що на сьогодні як діелектрики в основному використовують матеріали з відносною діелектричною проникністю $\epsilon_r = 10 - 300$, що має тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta = 1,5 \times 10^{-4} - 20 \times 10^{-4}$.

Для поліпшення фільтрувальних властивостей резонаторів застосовують резонатори спеціальної ступінчастої форми [1], рис. 3, а, б, що дозволяє змістити першу паразитну смугу на $(6-8) f_0$, де f_0 — перша резонансна частота (основна частота).

Для досягнення цієї самої мети використовують резонатори з плавною зміною діаметра провідників [3], рис. 3, в.

Однак такі резонансні системи складні у виготовленні і застосовуються порівняно рідко. Змінювати хвильовий опір уздовж лінії можна також за рахунок зміни діелектричної проникності уздовж резонатора. На практиці така реалізація зводиться до додавання шайб з різними значеннями діелектричної проникності. Можна домогтися мінімізації втрат в коливальній системі і тим самим отримати максимально можливу добротність, використовуючи переваги обох способів досягнення підвищеної розрядки спектра резонансних частот, а також вибравши оптимальні розміри елементів конструкції резонаторів з урахуванням можливості виникнення вищих типів хвиль.

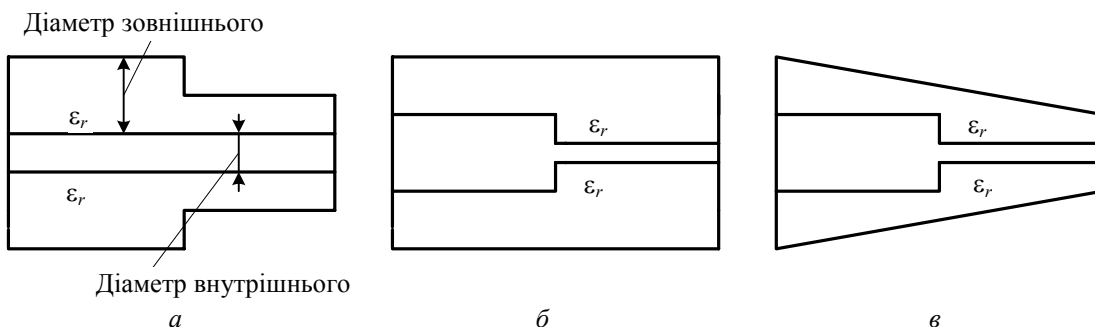


Рис. 3. Резонатори на нерегулярних коаксіальних лініях

При формуванні провідного покриття обирають матеріали, що володіють малими втратами (мідь, срібло, золото). Товщина основного провідного шару обирається залежно від робочої частоти і становить, зазвичай, величину в 3–5 разів більшу товщини скін-шару [4].

Так, у діапазоні частот до 2 ГГц, провідник повинен мати товщину не менше 12–15 мкм, від 2 до 4 ГГц–6–10 мкм.

Недоліком фільтрів на коаксіальних резонаторах є наявність паразитної смуги пропускання, що знаходиться на потроєній резонансній частоті.

Добротність резонатора є визначальною характеристикою будь-якого резонансного елемента. Вона враховує всі фактори теплових втрат і його габаритні розміри. При вирішенні питань мікромініатюризації необхідно чітко уявляти якою ціною доводиться розплачуватися за зменшення розмірів як самих розподілених елементів, так і пристроїв на їх основі. Закономірною, для більшості резонаторів, є залежність власної добротності і частоти від об'єму (об'єми всіх типів резонаторів, крім феритових, обернено пропорційні кубу частоти). Для більш повної і об'єктивної оцінки резонаторів користуються безрозмірним узагальненим параметром якості [11]:

$$K = \frac{10^{-3} Q_0}{V}$$

де Q_0 — навантажена добротність резонатора; V — об'єм резонатора.

Чим більше параметр якості, тим краще характеристики резонатора. У праці [12] для порівняльної оцінки фільтрів вводиться критерій якості, що враховує об'єм і прямі втрати фільтра, а також добротність і кількість резонаторів. Параметри якості відображають суперечливість характеристик резонаторів і фільтрів у тому сенсі, що прагнення в даному типі резонатора поліпшити одну з характеристик, погіршує іншу. Наприклад, збільшення добротності призводить до збільшення габаритів системи.

Отже, остаточний вибір типу резонатора конкретного пристрою визначається всією сукупністю вимог, що пред'являються до цього пристрою, від електричної характеристики системи в яку він повинен бути встановлений, вимог по ефективності придушення перешкод, в тому числі частоти зрізу і верхньої граничної частоти ослаблення, тобто частотних характеристик фільтруючого кола, а також вимог, визначених умовами експлуатації і від реальних обмежень по установці в апаратурі. Всі ці фактори пов'язуються з електричними характеристиками які можна розділити на такі групи:

- вимоги з частотного діапазону;

- вимоги з навантаження;
- вимоги зі струму витоку;
- вимоги щодо послаблення імпульсних перешкод;
- вимоги з стійкості до зовнішніх впливів;
- вимоги до конструкції.

Так, резонатори на відрізках коаксіальних ліній мають високу, порівняно з полосковим резонатором, добротність (отже, і високу вибірковість, малі втрати при відносній ширині смуги пропускання до 5 %), але, як правило, використовується верхня межа їх робочої частоти обмежується 6–8 ГГц. Це обмеження викликано тим, що при постійному діаметрі з підвищенням частоти добротність зростає, однак, коли довжина резонатора стає менше діаметра, виникає небезпека появи вищих коливань (коливань, відмінних від TEM). У зв'язку з цим, при підвищенні частоти одночасно зі зменшенням довжини резонатора необхідно зменшувати і його діаметр, а це в свою чергу призводить до зниження добротності. Аналіз вищевикладеного наштотує на висновок про те, що існують оптимальні параметри конструкції резонатора з точки зору отримання максимальної добротності.

При розробці фільтрів на відрізках неоднорідних полоскових ліній передачі використані далеко не всі можливості підвищення вибірковості резонансних систем з мінімальними втратами. В існуючих в даний час методах розрахунку резонаторів відсутнє урахування впливу втрат, а самі методики, як правило складні і громіздкі. Крім того, вони, як правило, не завершені алгоритмами синтезу коливальних систем. Немає простої і зручної формули розрахунку добротності резонаторів різних типів конструкцій на відрізках неоднорідних ліній.

Висновки

Дослідження показали, що оптимізація конструктивних параметрів коливальних систем таким чином, щоб змінювались їх частотні характеристики, призведе до зменшення втрат резонаторів. З аналізу фільтрувальних систем видно, що виборчі властивості існуючих конструкцій можна підвищити за рахунок оптимізації їх конструктивних параметрів, використовуючи приховані резерви мінімізації втрат з метою відповідності цих систем вимогам ЕМС.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Беляков А. Ю.** Расчёт СВЧ полосковых фильтров с частотными характеристиками специального вида / А. Ю. Беляков, Е. В. Петров, В. Е. Попов, А. П. Штейнгарт // *Вестник новгородского государственного университета.* — 2015. — №8. — С. 45–57.

2. **Маттей Г. Л.** Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / Г. Л. Маттей, Л. Янг, Е. М. Джонс. — Т. 1. — М.: Связь, 1971. — 439 с.

3. **Беляков А. Ю.** Методика проектирования металлокерамических фильтров СВЧ с применением программ 3D-моделирования / А. Ю. Беляков, Е. В. Петров, В. В. Попов, А. П. Штейнгарт // Вестник НовГУ. Сер.: Техн. науки. — 2014. — №81. — С. 26–30.

4. **Atia A. E.** New types of band-pass filters for satellite transponders / A. E. Atia, A. E. Williams // COMSAT Tech. Rev. — 1971. — Vol. 1. — P. 21–43.

5. **Cameron R. J.** Advanced Coupling Matrix Synthesis Techniques for Microwave Filters / Cameron R. J. // IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques. — 2003. — Vol. 51. — №1. — P. 1–10.

6. **Маттей Г. Л.** Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / Г. Л. Маттей, Л. Янг, Е. М. Джонс. — Т. 2. — М.: Связь, 1972. — 495 с.

7. **Беляков А. Ю.** Методика проектирования металлокерамических фильтров СВЧ с применением программ 3D-моделирования // А. Ю. Беляков, Е. В. Петров, В. В. Попов, А. П. Штейнгарт // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. — 2014. — №. 81. — С. 26–30.

8. **Cameron R. J.** Advanced coupling matrix synthesis techniques for microwave filters / R. J. Cameron // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003 IEEE International Conference. — 2003, vol. 51, no. 1. — P. 1–10.

9. **Gui Y. S.** High sensitivity microwave detection using a magnetic tunnel junction in the absence of an external applied magnetic field / Y. S. Gui et al. // Applied Physics Letters. — 2015. — Т. 106. — №. 15. — С. 152–403.

10. **Koochakzadeh M.** Tunable filters with nonuniform microstrip coupled lines / M. Koochakzadeh, Abbaspour-Tamijani A. // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. — V. 18(5). — 2008. — P. 314–316.

11. **Xuan L. M.** Design of dual-stop-band microwave filter based on the magnetoelectric composite / L. M. Xuan, H. M. Zhou, F. Li // Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2011 Eighth International Conference on. — IEEE, 2011. — Т. 4. — С. 2263–2266.

12. **Li-Ming Xuan** Design of dual-stop-band microwave filter based on the magnetoelectric composite / Li-Ming Xuan, Hao-Miao Zhou, Fang Li // Fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD), 2011 Eighth International Conference on July IEEE, 2011. — P. 2263–2266

13. **Wang Xu** Tunable microwave filters based on discrete ferroelectric and semiconductor varactors / Wang, Xu, et al. // IET microwaves, antennas & propagation. — V. 5. 7, 2011. — P. 776–782.

14. **Chun Y. H.** Tunable slotted ground structured bandstop filter with BST varactors / Y. H. Chun, J. S. Hong, P. Bao, T. J. Jackson, & Lancaster, M. J. // IET microwaves, antennas & propagation. — 3(5), 2009. — С. 870–876.

15. **Jia-Shiang Fu.** A ferroelectric-based impedance tuner for adaptive matching applications microwave symposium digest / Jia-Shiang FU, Zhu X. A. Phillips, J. D. Mortazawi A. // IEEE MTT-S 2008 International. 2008. — P. 955–958.

16. **Нефедов Е. И.** Полосковые линии передачи: Электродинамические основы автоматизированного проектирования интегральных схем СВЧ / Е. И. Нефедов, А. Т. Фиалковский. — М.: Изд-во «Наука», 1980. — С. 468.

Бойко Ю. П., Приходько Т. Ю., Басюк І. О.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ФІЛЬТРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НВЧ І ЇХ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ

Добре відомо, яку виключно важливу роль відіграють в радіотехніці коливальні системи. Коливальними системами для діапазону надвисоких частот є резонатори, що представляють великий і значний клас пристроїв НВЧ. У статті проведено огляд сучасних фільтруючих пристроїв НВЧ, сучасні уявлення про їх основні властивості та методи побудови. Істотним чинником, що визначає проблеми фільтробудування є те, що перехід до інтегральних схем, що містять елементи з розподіленими параметрами, супроводжується рядом небажаних явищ: добротність, паразитні смуги пропускання і хвильові типи коливань. Дослідження показало, що оптимізація конструктивних параметрів коливальних систем таким чином, щоб змінювались їх частотні характеристики, призведе до зменшення втрат резонаторів.

Ключові слова: НВЧ, фільтр, фільтрація, лінія передачі, смуга пропускання, хвиля, хвилевід.

Бойко Ю. П., Приходько Т. Ю., Басюк И. А.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ СВЧ И ИХ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ

Хорошо известно, какую важную роль играют в радиотехнике колебательной системы. Колебательными системами для диапазона сверхвысоких частот является резонаторы, представляющие большой и значительный класс устройств СВЧ. В статье проведен обзор современных фильтрующих устройств СВЧ, современные представления об их основных свойствах и методы построения. Существенным фактором, определяющим

проблемы фильтростроения является то, что переход к интегральным схемам, содержащим элементы с распределенными параметрами, сопровождается рядом нежелательных явлений: добротность, паразитные полосы пропускания и волновые типы колебаний. Исследование показало, что оптимизация конструктивных параметров колебательных систем таким образом, чтобы менялись их частотные характеристики, приведет к уменьшению потерь резонаторов.

Ключевые слова: СВЧ, фильтр, фильтрация, линия передачи, полоса пропускания, волна, волновод.

Boyko Y., Prikhodko T., Basiuk I.

REVIEW OF MODERN MICROWAVE FILTERING DEVICES AND THEIR METHODS OF CONSTRUCTION

It is well known that oscillatory systems play an extremely high role in radio engineering. The resonators are oscillatory systems for the ultrahigh frequency range that representing a large and significant class of superhigh frequency devices. The article provides an overview of modern superhigh frequency filtering devices, recent interpretations about their main properties and methods of construction. An important factor that defines an issue of filter composition is the transition to integrated circuits containing elements with distributed parameters which accompanied by a number of undesirable phenomena: Q -factor, parasitic bandwidth and wave types of oscillations. The research has shown that the optimization of the design factors of oscillatory systems in such a way that their frequency characteristics are changed, will reduce the losses of the resonators.

Keywords: superhigh frequency devices, filtering devices, transmission line, bandwidth, wave, waveguide.

Стаття надійшла до редакції 18.09.2018 р.

Прийнято до друку 25.09.2018 р.

Рецензент – д-р техн. наук, проф. – Козловський В. В.