

Зустрічно-стрижневий фільтр кільцевої форми

Карташев В. В.¹, Старунський А. В.²

¹НДІ «Квант», Україна

²ДП «Укрметргестстандарт», Україна

E-mail: avstar1949@gmail.com

Анотація

Розроблено конструкцію малогабаритного смуго-пропускного смужкового фільтра кільцевої форми на зустрічних стрижнях. Наведено результати експериментальних досліджень, які показали, що розроблений фільтр має прийнятний показник якості, і може успішно використовуватися для частотної селекції сигналів в багатоканальних приймачах НВЧ з паралельним спектральним аналізом.

Опубліковано

20.06.22



Ключові слова: смуго-пропускний фільтр, симетрична повітряно-смужкова лінія, зустрічні стрижні, кільцева форма, масо-габаритні показники, показник якості.

1. Основна частина

Проектування сучасної радіоапаратури постійно зв'язано із складністю оптимізації характеристик елементів і вузлів, удосконаленням технологічності їх виконання та із відповідністю вимогам з електромагнітної сумісності. Частотно-селективні та електрично керовані пристрої надвисоких частот (НВЧ) є найважливішими елементами сучасних радіотехнічних систем. Вони широко використовуються в системах зв'язку, в фазованих антенних решітках радіолокаційних станцій, а також в різній вимірювальній і спеціальній радіоапаратурі. Серед великої різноманітності частотно-селективних пристроїв, застосовуваних у сучасних радіотехнічних комплексах і системах, найбільш затребуваними є смуго-пропускні фільтри НВЧ, а також амплітудні і фазові модулятори. Так, в бортових фазованих антенних решітках останнього покоління кількість таких пристроїв може досягати декількох сотень, тому саме вони найчастіше визначають як метроло-

гічні характеристики окремих апаратних частин, так і нерідко тактико-технічні характеристики всієї системи. Найважливішими вимогами, що пред'являються до таких пристроїв, є компактність і простота конструкції, технологічність у виробництві, низька вартість і високі електричні характеристики. За сукупністю перелічених вимог оптимальними є пристрої на основі смужкової і мікросмужкової лінії передачі, що створюються за планарною технологією. Безсумнівно, що пошук нових підходів і принципів побудови таких пристроїв, які мають поліпшені масогабаритні і електричні характеристики, є важливим і актуальним завданням сучасної радіотехніки. Широке застосування в техніці НВЧ знаходять смуго-пропускні фільтри на зустрічних стрижнях, які мають ряд відомих переваг. Є кілька технічних рішень, що дозволяють зменшити розміри зустрічно-стрижневих фільтрів [1]. Однак такі фільтри мають обмежене практичне застосування через складність їх реалізації. Тому в основному використовуються зустрічно-стрижневі фільтри типової конструкції,

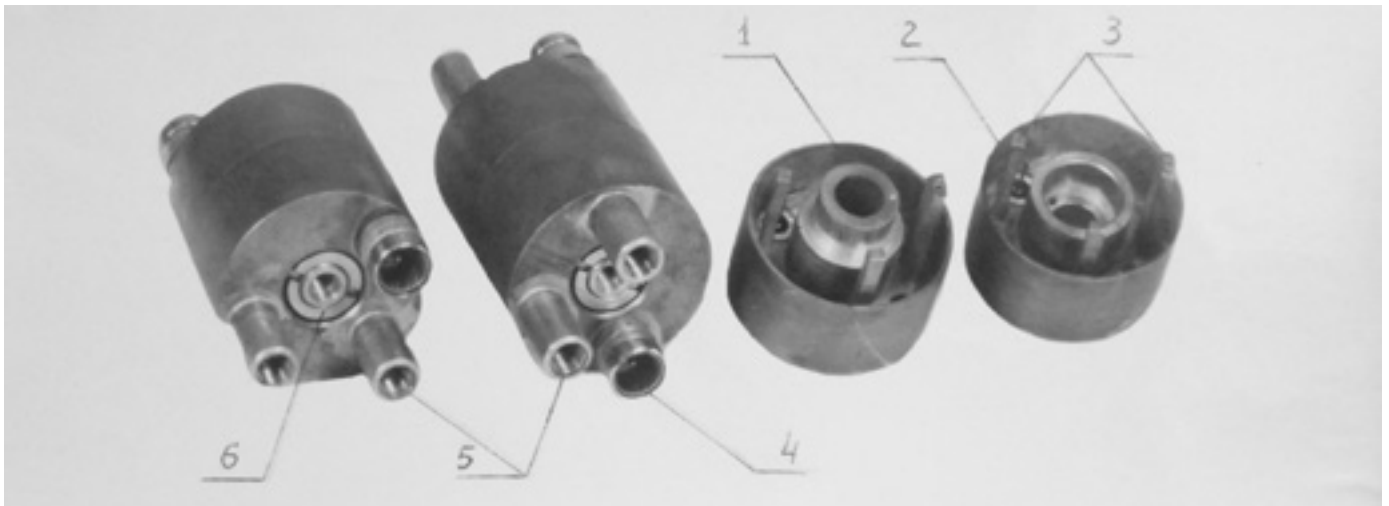


Рис. 1. Конструкція фільтра

1, 2 – аналогічні половини фільтра; 3 – стрижні гребінчастої структури; 4 – гіперболоїдні розіми; 5 – елементи налаштування; 6 – елементи кріплення

що мають прямокутний переріз і виконані на симетричній повітряно-смужковій лінії з прямокутними внутрішніми провідниками [2, 3].

У даній роботі наводяться результати розробки малогабаритного смужкового смуго-пропускного фільтра кільцевої форми на зустрічних стрижнях, що дозволяє знизити масо-габаритні характеристики таких фільтрів і спростити технологію їх виготовлення. Також проведена оцінка відповідності фільтра критерію якості для некерованих смуго-пропускних фільтрів.

Нове конструктивне рішення засноване на згортанні смужкового смуго-пропускного фільтра типової конструкції в замкнуте кільце¹. Конструктивно фільтр являє собою збірку, яка складається з двох аналогічних половинок кільцевої форми і елементів кріплення (конструкція розробленого фільтра показана на Рис. 1).

Кожна половина з аналогічними гребінчастими структурами виготовляється з циліндричної заготовки шляхом фрезерування. Зустрічне розташування двох таких гребінчастих структур дає компактну конфігурацію фільтра. Стрижні гребінчастої структури, які розміщені по колу в центрі порожнього екрану відповідно до проведеного попереднього розрахунку, мають в поперечному перерізі форму сектора. При цьому додатково експе-

риментально встановлено, що величині Δx (ширина стрижнів або відстань між ними) в фільтрі-аналого прямокутного перерізу повинна відповідати різниця центральних кутів $\Delta\theta$ в кільцевій конструкції (1).

$$\Delta\theta(\text{rad}) = \Delta x / (r - t / 2) \quad (1)$$

де $r = (l + s) / 2\pi$ – радіус середньої окружності кільця, мм;

l – довжина фільтра-аналога без врахування конструктивних розмірів: товщини стінки корпусу і відстані s між крайнім стрижнем і внутрішньою поверхнею корпусу, мм;

t – товщина стрижня, мм.

Відзначимо, що в даній конструкції фільтра на відміну від аналога гарантується належний електричний контакт кожного резонатора з корпусом фільтра, бо вони виготовляються з одного шматка заготовки (тобто виключається паяння резонаторів до корпусу). Фільтр налаштовують за допомогою настроювальних гвинтів, які розташовані по колу в стінках корпусу навпроти торців стрижнів. Виготовлено і експериментально досліджено з використанням вимірювача комплексного коефіцієнта передачі P4-23 три макета чотирирезонаторних

¹ Конструкція фільтра запропонована В. В. Карташевим, а розрахунок фільтрів і їх експериментальне дослідження проведені А. В. Струнським і Л. М. Ольшанським.

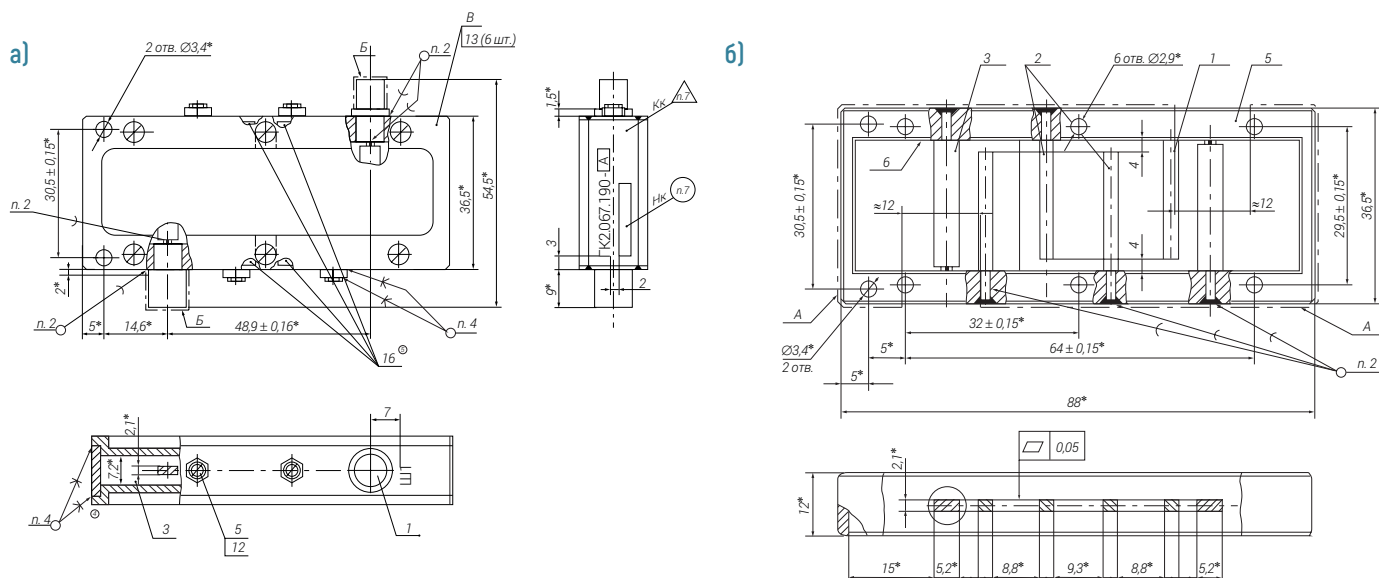


Рис. 2. Креслення конструкції фільтра-аналога:

- a) – загальний вид;
b) – внутрішній вид.

зустрічно-стрижневих фільтрів кільцевої форми для різних ділянок S-діапазону.

У фільтрах встановлені гіперboloїдні розніми [4, 5, 6]. Даний тип з'єднувачів перевершує з надійності, тривалості експлуатації, стійкості до зовнішніх діючих факторів та зручності застосування усі існуючі схеми комутації електричних кіл. Маса і габарити розроблених фільтрів приблизно в 1,5 рази менше, ніж у аналогів, при цьому зберігаються електричні параметри останніх. Слід зазначити, що фільтр-аналог випускався серійно і використовувався у багатоканальному частотно-розділовому пристрої (конструкція фільтра-аналога показана на Рис. 2). Тому заміна фільтрів-аналогів на розроблені фільтри у такому частотно-розділовому пристрої суттєво зменшує його масу.

Амплітудно-частотна характеристика розробленого фільтра представлена на Рис. 3. Кожен фільтр має наступні характеристики: смуга пропускання на рівні 3 дБ дорівнює $\Delta f \approx 55$ МГц; внесені затрати складають $\Delta f = 1,2$ дБ; діапазон робочих частот, в якому можливе перестроювання АЧХ фільтра становить близько 350 МГц; загасання сигналу при відстроюванні від центральної частоти α_r на величину смуги пропускання становить $f_o = 27,5$ дБ; КСХН $\leq 1,7$; об'єм $v \approx 33,5$ см³;

маса ≈ 150 г. Розв'язка фільтра, що визначається безпосереднім просочуванням сигналу через елементи зв'язку, становить 50 дБ.

Для порівняння якості конструювання смуго-пропускних фільтрів в літературі пропонується

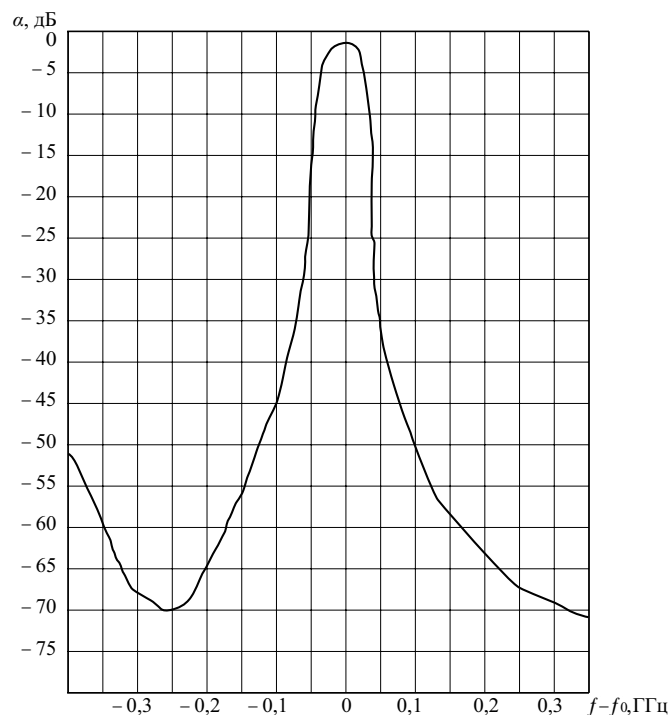


Рис. 3. Амплітудно-частотна характеристика фільтра:
 α – рівень затрат;
 f_o – центральна частота фільтра.

ряд виразів ^[7, 8], які враховують електричні характеристики фільтра і його габарити, в тому числі об'єм. Найбільш вдалий відомий аналітичний вираз (2) для показника якості (ПЯ) некерованих смуго-пропускних фільтрів приведено в роботі ^[9].

$$\text{ПЯ} = \frac{10}{\lambda} \left[\frac{\alpha_0 (\Delta f / f_0) \nu \left(\log \frac{\Delta f_r}{\Delta f} \right)^2}{(\alpha_r / 20)^2} \right], \quad (2)$$

де α_0 , дБ – рівень мінімальних внесених затрат в смугі пропускання;

Δf – ширина смуги пропускання на рівні 3 дБ;

Δf_r – ширина смуги на рівні загасання f_0 ;

$\Delta f / f_0$ – відносна ширина смуги пропускання, %;

ν , см³ – фізичний об'єм фільтра;

λ , см – робоча довжина хвилі.

Теоретичні і експериментальні дослідження багатьох фільтрів на відрізках ліній передачі різних типів показали, що для канонічних фільтрів при якісному їх виготовленні ПЯ = 3,0 – 3,5 ^[9]. Із виразу (2) при підстановці характеристик розробленого фільтра маємо ПЯ = 3,5 (3).

$$\text{ПЯ} = \frac{10}{10,17} \left[\frac{1,2 \cdot 1,86 \cdot 33,5 \left(\log \frac{110}{55} \right)^2}{(27,5 / 20)^2} \right] = 3,5. \quad (3)$$

Це свідчить про прийнятну якість розробленого фільтра.

2. ВИСНОВОК

Розроблений малогабаритний смуго-пропускний смужковий фільтр може знайти застосування в сучасній НВЧ апаратурі, є конкурентоспроможним і заслуговує на подальший розвиток.

Посилання

1. Леонченко В. П., Фельдштейн А. Л., Шепелянський Л. А. 1975 Розрахунок смужкових фільтрів на зустрічних стрижнях: Довідник [Расчет полосковых фильтров на встречных стержнях: Справочник]. М.: Зв'язок, с. 312. [Російською]
2. Маттей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. 1972 Фільтри СВЧ, узгоджувальні ланцюги та ланцюги зв'язку [Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи]. Т. 2, М.: Зв'язок, с. 496. [Російською]
3. Фельдштейн Ф. Л. 1970 Довідник елементів смужкової техніки [Справочник по элементам полосковой техники]. М.: Зв'язок, с. 336. [Російською]
4. Карташев В. В., 15.12.87 Гіперболоїдне гніздо СВЧ-розніму [Гиперболоидное гнездо СВЧ-разъема]. А. с. 1125684 СССР, кл. Н01R 13/11. № 3961121/24-07, **Бюл. № 46**. [Російською]
5. Карташев В. В., 30.03.90 Пристрій для виготовлення гіперболоїдних контактних вузлів [Устройство для изготовления гиперболоидных контактных узлов]. А. с. 1125684 СССР, кл. Н01R 13/11. № 4224318/24-07, **Бюл. № 12**. [Російською]
6. Глушеченко Є. Н. 2020 Принципи реалізації співвісних СВЧ-з'єднувачів для сучасних радіоелектронних систем [Принципы реализации соосных СВЧ-соединителей для современных радиоэлектронных систем]. Технологія та конструювання в електронній апаратурі. **№ 5-6**, с. 20-27. [Російською] <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2020.5-6.20>
7. Бачиніна Є. Л., Прохорова Н. І., Фельдштейн А. Л. 1971 Втрати СВЧ фільтрів та проблеми мініатюризації [Потери в фильтрах СВЧ и проблемы миниатюризации]. Радіотехніка. **Т. 26, № 10**, с. 46-52. [Російською]
8. Осипенков В. М., Бачиніна Є. Л., Фельдштейн А. Л. 1973 Питання розрахунку фільтрів СВЧ з втратами [Вопросы расчета фильтров СВЧ с потерями]. Радіотехніка. **Т. 28, № 4**, с. 25. [Російською]
9. Бачиніна Є. Л. 1990 Критерій якості смуго-пропускних фільтрів [Критерий качества полосно-пропускающих фильтров]. Радіотехніка та електроніка. **Т. 35, № 11**, сс. 2449-2452. [Російською]