

УДК 621.39

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОНОЛІТНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ФІЛЬТРІВ З ДОДАТНИМ ХАРАКТЕРОМ ЗВ'ЯЗКУ РЕЗОНАНСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*Мірських Г.О., Андрусенко Є.М.*

Монолітні діелектричні фільтри (МДФ), завдяки своїм високим електричним та експлуатаційним характеристикам, знаходять широке застосування у різних видах апаратури метрового та дециметрового діапазонів довжин хвиль [1]. Характерна особливість фільтрів цього класу полягає в тому, що їх високі економічні та технологічні характеристики, можуть бути досягнуті лише в умовах масового (або, принаймні, багатосерійного) виробництва при наявності відповідного технологічного оснащення (для виробництва та ладнання). Розроблення та виготовлення вказаного технологічного оснащення, само по собі, потребує чимало часу та коштів. В той же час МДФ є привабливими для широкого використання і в дрібносерійній апаратурі, з метою ефективного вирішення задач частотної фільтрації сигналів. При цьому необхідна наявність таких методів розрахунку конструктивних розмірів елементів МДФ за наданими електричними характеристиками та таких методів ладнання, які б дозволяли максимально зменшити обсяг робіт; з розробки та виготовлення найбільш дорогого технологічного оснащення, або (що найкраще) в певній мірі уніфікувати останнє.

Наведене обумовлює актуальність проведення теоретичних та експериментальних досліджень МДФ, кінцевою метою яких має стати побудова алгоритмів проектування МДФ та розроблення мінімального ряду відповідного технологічного оснащення для виготовлення МДФ в тому чи іншому діапазоні електричних характеристик.

### **Предмет та методика експериментального дослідження**

Відомі конструкції МДФ можна розділити на два класи відповідно до характеру взаємного зв'язку між резонансними елементами (РЕ). Цей зв'язок відбувається за рахунок введення між РЕ відповідних елементів, які і визначають величину вказаного зв'язку та характеризують його як додатний або від'ємний.

Додатний або від'ємний характер взаємного зв'язку РЕ визначається видом елементів, які введені між резонаторами. З огляду на еквівалентну схему частотних фільтрів [2] ці введені між резонаторами елементи утворюють інвертори, параметри яких визначаються коефіцієнтами трансформації. Кожний вказаний інвертор здебільше можна вважати ідеальним (тобто таким, у якого відсутні дисипативні втрати) і характеризувати додатною або від'ємною уявною величиною.

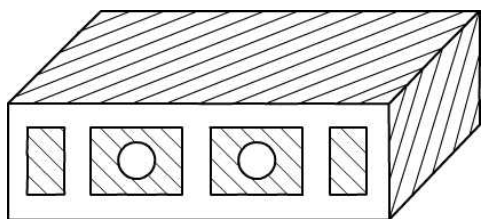


Рис. 1

Інвертор, що характеризується від'ємною уявною величиною, за звичай, реалізується в площині торцевої вільної від металізації поверхні МДФ, наприклад, зазором між відповідними плівковими елементами, які з'єднані з РЕ і виконані безпосередньо на вказаній торцевій поверхні (рис. 1), або на додатково введених пластині.

редньо на вказаній торцевій поверхні (рис. 1), або на додатково введених пластині.

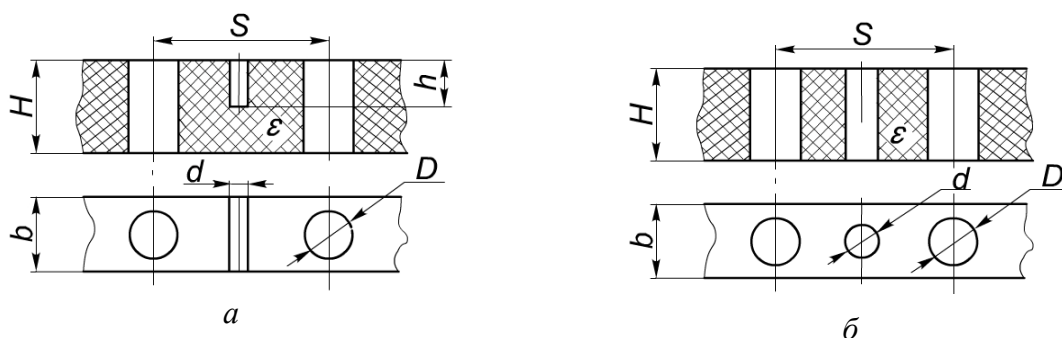


Рис. 2

Інвертор, що характеризується додатною уявною величиною, можна реалізувати за допомогою введення між РЕ вільних від металізації пазів (рис. 2а) чи отворів (рис. 2б).

В даній роботі представлені результати проведених експериментальних досліджень МДФ з додатним характером зв'язку між РЕ. Дослідження проводились для обох поданих на рис. 2 варіантів створення зв'язку.

Метою дослідження було встановлення експериментальної залежності величини взаємного зв'язку РЕ від параметрів елемента зв'язку. При цьому, в якості параметра елемента зв'язку, реалізованого за допомогою пази, була вибрана глибина  $h$  останнього при фіксованій ширині (яка, за звичай, дорівнює розміру інструменту, що використовується). Ця глибина  $h$  нормувалася відносно загальної висоти  $H$  фільтру. Параметром елемента зв'язку у вигляді наскрізного отвору був вибраний діаметр  $d$  останнього, який нормувався відносно ширини  $b$  фільтру.

Для експериментального дослідження була вибрана дворезонаторна структура МДФ. Коефіцієнт  $K$  взаємного зв'язку РЕ визначався за формулою [2]

$$K = 2(f_2 - f_1)/(f_2 + f_1), \quad (1)$$

де  $f_1, f_2$  – резонансні частоти РЕ при наявності взаємного зв'язку (так звані, частоти зв'язку РЕ).

Точність формули (1) залежить від ступеня зв'язку кожного РЕ з зовнішніми елементами (елементами підведення та відведення НВЧ енергії). В дослідженнях цей зв'язок був реалізований за допомогою контактних пло-

щадок, нанесених на торцеву поверхню МДФ в безпосередній близькості від РЕ (як це показано на рис. 1). Геометричні розміри вказаних контактних площадок і їх відстань від РЕ вибиралися, виходячи з умови досягнення достатньої точності визначення коефіцієнту  $K$  і можливостей радіовиміральної апаратури, що використовувалась.

Для індикації резонансної характеристики МДФ використовувався прилад Р4-37, при цьому ступінь зв'язку РЕ з зовнішніми колами встановлювалась такою, щоб рівень втрат в каналі з МДФ був не менше 30 дБ. Резонансні частоти РЕ вимірювались частотоміром ЧЗ-74.

При вказаних умовах загальна похибка отриманого значення коефіцієнту взаємного зв'язку залежить, переважно, від точності визначення резонансної частоти РЕ. Ця резонансна частота визначалася методом "вилки" на підставі серії відповідних вимірювань. За оцінками похибка отриманих значень коефіцієнту взаємного зв'язку не перевищувала 5%.

### Результати експериментальних досліджень

Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 3.

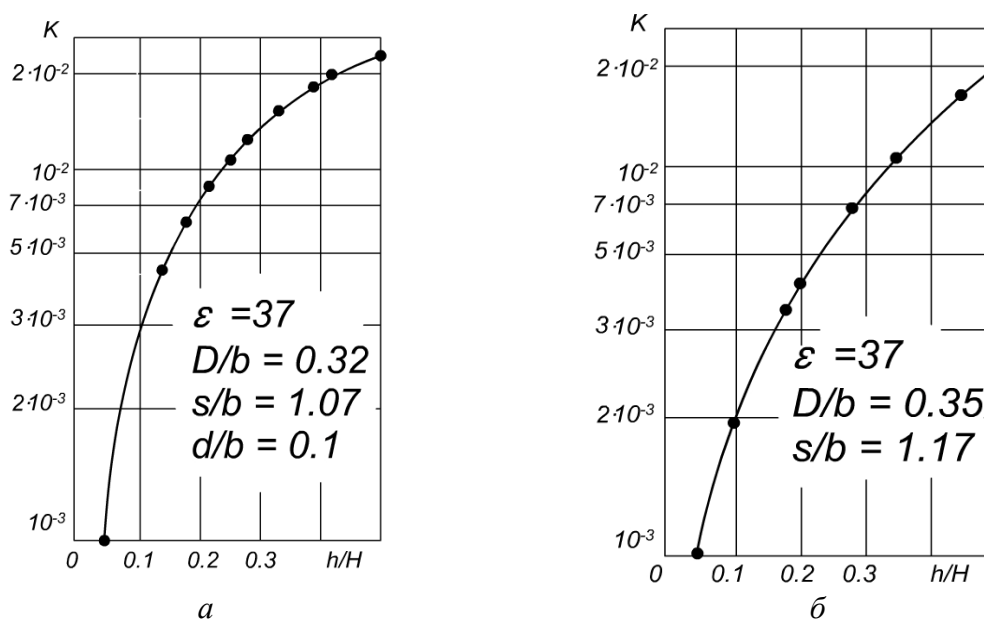


Рис. 3

Видно, що зміна глибини пазу (рис. 3а) або діаметра отвору (рис. 3б) дозволяє змінювати значення коефіцієнту взаємного зв'язку більше ніж у 10 разів. Такого діапазону зміни коефіцієнта взаємного зв'язку РЕ фільтру достатньо для реалізації амплітудно-частотних характеристик (АЧХ), що апроксимуються функціями Батерворта і Чебишова, причому в останньому випадку можна отримати значення нерівномірності частотної характеристики у смузі пропускання до 3 дБ при співвідношеннях, які можуть бути реалізовані відносно простими технологічними засобами.

## Використання отриманих результатів в практиці розроблення МДФ

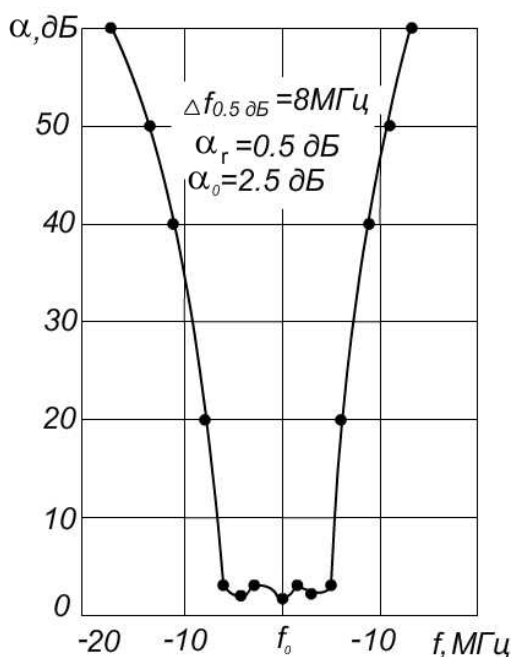


Рис. 4

Отримані залежності коефіцієнту взаємного зв'язку РЕ від геометричних параметрів елементу зв'язку можна успішно використовувати в практиці проектування МДФ з заданими характеристиками, на підставі загальної методики синтезу частотних фільтрів [2]. Відповідність розрахункових даних результатам отриманим після "експериментального доведення" АЧХ фільтрів до заданих вимог достатньо висока (похибка не перевищує 3%), за умови відсутності локальних дефектів в діелектричній основі фільтру. Як приклад, на рис. 4 наведена АЧХ фільтру, розробленого з використанням наведених результатів експериментальних досліджень після незначного обсягу робіт з ладнання.

Втрати на середній частоті смуги пропускання (яка склала 8 МГц) не перевищували 2,5 дБ, при нерівномірності АЧХ в смугі пропускання менше 0,5 дБ.

Слід звернути увагу на асиметрію АЧХ – низькочастотна гілка пологіша за високочастотну. Це явище обумовлене резонансом структури, утвореної елементом взаємного зв'язку і РЕ. Вказаний резонанс відбувається на частоті, при якій реактивність елемента взаємного зв'язку співпадає (з негативним знаком) з реактивністю РЕ, при відстроюванні останнього від резонансної частоти. Відмітимо, що ємнісний характер елемента взаємного зв'язку призводить до дзеркальної асиметрії АЧХ фільтра. Вказані ефекти можна використати для підвищення коефіцієнту прямокутності АЧХ фільтрів, або для додаткової електромагнітної ізоляції суміжних каналів діплексерів.

Проведені експериментальні дослідження МДФ показали, що при реалізації додатного характеру взаємного зв'язку РЕ вільними від металізації пазами або отворами, можна досягти широкого спектру АЧХ, використовуючи для виготовлення фільтру одну пресформу (найбільш дорогий компонент технологічного оснащення).

Отримані результати можуть бути використані в процесі проектування МДФ з заданими характеристиками.

## Література

1. Filters-Components-Modules for Communication Equipment // Catalog № 081E2. "Murata". July, 2007.

2. Маттей Г., Янг Л., Джонс Е. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т.1,2. М.: Связь. — 1971.1972 — 439 с., 527 с.

*Мірських Г.О., Андрусенко Є.М. Експериментальне дослідження монолітних діелектричних фільтрів з додатним характером зв'язку резонансних елементів. Наведені результати експериментальних досліджень монолітних діелектричних фільтрів з елементом зв'язку між резонаторами у вигляді отвору та пазу.*

**Ключові слова:** частотний фільтр, діелектричний фільтр, проектування діелектричних фільтрів

*Мирских Г.А., Андрусенко Е.Н. Экспериментальные исследования монолитных диэлектрических фильтров с положительным характером связи резонансных элементов. Приведены результаты экспериментальных исследований монолитных диэлектрических фильтров с элементом связи резонаторов в виде отверстия и паза.*

**Ключевые слова:** частотный фильтр, диэлектрический фильтр, проектирование диэлектрических фильтров

*Mirskikh G.O., Andrusenko E.N. Experiment researches of monolith dielectric filters with the positive couple of resonant elements. Results experiment researches of monolith dielectric filters with element of couple as perforation and groove are adduced.*

**Key words:** frequency filter, dielectric filter, designing of the dielectric filters