

18

37-45/3455

11 16

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Мамедова Довлєта Байрамовіча «Інтелектуальний синтез та оптимізація конструкцій НВЧ-фільтрів на основі частково заповнених хвилеводно-діелектричних резонаторів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.07 – Антени та пристрой мікрохвильової техніки

Актуальність теми дисертації. Мікрохвильові фільтри, які здійснюють частотну селекцію сигналів надвисоких частот, є найважливішими елементами сучасних радіотехнічних та телекомунікаційних систем. Жорсткі вимоги до якості функціональних і масо-габаритних характеристик мікрохвильових фільтрів зумовлюють потребу в удосконаленні існуючих та в розробці нових методів їх проектування.

Найважливішими вимогами, що пред'являються до мікрохвильових фільтрів, є висока вибірковість, надійність, мініатюрність, технологічність у виробництві, низька вартість. За сукупністю перелічених вимог оптимальними, особливо для міліметрового діапазону хвиль, є конструкції фільтрів на основі частково заповнених хвилеводно-діелектричних резонаторів (ХДР).

Великий обсяг проектно-конструкторських робіт зі створення мікрохвильових фільтрів при жорстких обмеженнях на час розробки обумовлюють необхідність впровадження машинних методів проектування, заснованих на використанні строгих електродинамічних моделей і ефективних методів оптимізації та синтезу.

Сучасні системи автоматизованого проектування НВЧ-пристроїв, що відрізняються універсальністю і високою вірогідністю результатів проектування, характеризуються великими витратами обчислювальних ресурсів через високу розмірність вирішуваних завдань, пов'язаних з дискретизацією досліджуваних структур при тривимірному електродинамічному моделюванні. Тому залишається затребуваною розробка програмних комплексів, що використовують адекватні математичні моделі, які враховують фізико-технічні особливості структур проектованих пристрой та є адаптованими до машинного проектування конкретного класу НВЧ-пристроїв.

Таким чином, тема дисертаційної роботи, метою якої є створення математичного і програмного забезпечення для автоматизованої системи інтелектуального синтезу та оптимізації конструкцій НВЧ-фільтрів на основі частково заповнених хвилеводно-діелектричних резонаторів є актуальну.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
Дисертаційна робота виконана в рамках пріоритетних напрямів розвитку науки



і техніки, позначеных верховною радою і урядом України, в числі яких відмічено необхідність розробки конкурентоздатних зразків техніки в області мікроелектроніки і елементної бази систем зв'язку телекомунікаційних та інформаційних систем.

Результати роботи використані при розробці високочутливої НВЧ-апаратури в рамках науково-дослідної роботи «Розробка, виготовлення і постачання радіоастрономічної приймальної системи (РПС) для оснащення антен малих радіотелескопів», шифр «Квазар-М-Сатурн», номер державної реєстрації 0112U007540 від 22.11.2012 р..

Короткий аналіз змісту дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Текст дисертації містить 150 сторінок, 40 рисунків, 14 таблиць, список використаних джерел зі 150 найменувань на 14 сторінках та 4 додатки на 15 сторінках.

У першому розділі розглянуто основні етапи машинного проектування НВЧ-пристроїв, що включають процедури моделювання, аналізу, оптимізації. Проведено аналітичний огляд методів оптимізації, заснованих на використанні безградієнтних та градієнтних алгоритмів мінімізації функцій багатьох змінних, евристичних алгоритмів і алгоритмів на основі штучного інтелекту. Розглянуто сучасні системи автоматизованого проектування НВЧ-пристроїв, відзначені їх можливості і недоліки. Сформульовано задачу синтезу НВЧ-фільтрів на основі ХДР з частковим заповненням в Н- і Е- площинах. Визначено мету і завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі сформульовано задачу розробки методу інтелектуального синтезу і оптимізації конструкцій НВЧ-фільтрів на основі ХДР з використанням технологій експертних систем. Проведено огляд експертних систем, введені основні поняття і визначення. Наведено етапи створення експертної системи та приведена технологія процесу проектування.

Складено базу знань, що включає в себе звід кваліфікованих правил і експертних оцінок для процедури інтелектуального синтезу частотних характеристик НВЧ-фільтрів на основі ХДР. Наведено алгоритм інтелектуального синтезу з використанням бази знань розробленої експертної системи. Розглянуто процедури ітераційного параметричного синтезу за такими параметрами як коефіцієнт прямокутності, частотне розташування полюсів характеристики загасання фільтру, максимальна частотна відстань до паразитної смуги.

Новим науковим результатом є метод інтелектуального синтезу багатоланкових НВЧ-фільтрів на основі ХДР, що використовують технологію експертних систем.

У третьому розділі розроблені строгі математичні моделі багатоланкових НВЧ-фільтрів на основі ХДР з частковим заповненням в Н- і Е-площині. Моделі представлені у формі матриці передачі, що є найбільш зручною та економічною при розрахунку каскадних багатоланкових структур. Для складання моделей використано метод часткових областей і дескриптори у вигляді узагальненої матриці розсіювання. Рішення задач розсіювання зведене до визначення зв'язку між амплітудами падаючих і відбитих хвиль в граничних перетинах часткових областей досліджуваної структури. Ці зв'язки отримані у вигляді нескінчених систем лінійних алгебраїчних рівнянь (ЛАР), що випливають з умов безперервності тангенціальних складових електромагнітного поля на границях часткових областей і методу проекційного зшивання компонент поля. Нескінченні системи ЛАР вирішенні методом редукції. Проведено дослідження збіжності розробленого методу моделювання та визначено число врахованих мод, що забезпечують похибку розрахунків, яка не перевищують частки відсотка.

Новими науковими результатами є розробка строгих математичних моделей для багатоланкових НВЧ-фільтрів на основі ХДР з частковим заповненням в Н- и Е-площині, точність яких забезпечується одночасним урахуванням хвиль, що поширяються і хвиль, що згасають в елементах структури фільтрів.

У четвертому розділі представлено процес програмної реалізації запропонованого методу синтезу і оптимізації НВЧ-фільтрів на основі хвілеводно-діелектричних резонаторів. Програмна реалізація системи проектування НВЧ-фільтрів на основі ХДР виконувалась за сучасними методологіями розробки програмного забезпечення та технологіями програмування. Наведено обґрунтування вибору технології об'єктно-орієнтованого програмування і методології програмування на основі методології TDD для реалізації поставленого завдання. Дано опис користувальницького інтерфейсу розробленої САПР і процедури організації бібліотеки моделей і функцій.

На розроблене програмне забезпечення отримано авторське свідоцтво Державної служби інтелектуальної власності України.

Новими науковими результатами є розробка системи автоматизованого проектування НВЧ-фільтрів на основі хвілеводно-діелектричних резонаторів, яка відрізняється зручним інтерфейсом і широкими функціональними можливостями.

У п'ятому розділі вирішено ряд практичних завдань, що включають: проведення експериментальної верифікації розробленого методу інтелектуального синтезу НВЧ-фільтрів на основі ХДР; порівняння конструкцій

фільтрів на ХДР з відомими мікросмужковими аналогами; розрахунок фільтрів для сучасних систем зв'язку. Порівняння з експериментальними зразками показало працездатність запропонованого методу і розробленого програмного забезпечення на його основі.

Новими науковими результатами є доведення працездатності і адекватності розробленого методу синтезу і оптимізації НВЧ-фільтрів на ХДР, який базується на технологіях штучного інтелекту - експертних системах. Показана можливість технічної реалізації смугових фільтрів, на основі частково-заповнених ХДР в міліметровому діапазоні, що відповідають сучасним стандартам ECMA-387, WirelessHD, IEEE 802.15.3с та IEEE 802.11ad.

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій.

Сукупність отриманих результатів являє собою значний внесок у розвиток теорії і практики проектування багатоланцюгових фільтрів на основі частково заповнених ХДР.

До основних наукових результатів слід віднести:

- 1) Вперше складено звід експертних оцінок впливу параметрів на частотні характеристики фільтру на основі ХДР і визначені правила цілеспрямованої модифікації параметрів, що поліпшують характеристики фільтру.
- 2) Вперше розроблено метод інтелектуального синтезу, в якому, на відміну від існуючих, зміна параметрів структури, що оптимізується, відбувається на підставі експертної оцінки, що зводить до мінімуму число фізично необґрутованих ітерацій пошуку екстремуму цільової функції.
- 3) Запропоновано нові строгі багатомодові математичні моделі багатоланкових НВЧ-фільтрів на основі ХДР з частковим заповненням в Е- і Н-площині. Моделі представлені в компактній і зручній для розрахунків формі - у вигляді Т- і S-матриць, і на відміну від існуючих моделей, визначені щодо граничних перетинів у вхідних регулярних хвилеводах, що дозволило підвищити точність моделювання за рахунок обліку ефектів збудження, поширення і взаємодії вищих типів хвиль на неоднорідностях позамежного хвилеводу.
- 4) Розроблено оригінальне програмне забезпечення, реалізоване в автоматизованій системі інтелектуального синтезу багатоланкових НВЧ-фільтрів на основі ХДР. Система відрізняється від подібних високою продуктивністю, зручністю призначеного для користувача інтерфейсу, широкими функціональними можливості при високій точності розрахунків.

Практична цінність отриманих результатів. Використання розробленого методу інтелектуального синтезу та оптимізації конструкцій

НВЧ-фільтрів з частково-заповненими ХДР, що опирається на строгі електродинамічні моделі, дозволяє проектувати фільтри з високою точністю і значно зменшити час проектування. На базі запропонованого методу створено програмне забезпечення Sapphire CAD для автоматизованого проектування НВЧ-фільтрів на основі ХДР.

Показана можливість технічної реалізації смугових фільтрів, на основі частково-заповнених ХДР в міліметровому діапазоні, що відповідають сучасним стандартам ECMA-387, WirelessHD, IEEE 802.15.3с та IEEE 802.11ad.

Наукові і практичні результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в учебних дисциплінах «Технічна електродинаміка», «Чисельні методи в інформатиці», в курсовому та дипломному проектуванні.

Розроблене програмне забезпечення впроваджено в практику проектування НВЧ-фільтрів на ПАТ «НВП Сатурн».

Пропозиції по використанню отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані в науково-дослідних інститутах, конструкторських бюро і учебних закладах, які займаються дослідженням, розробкою і вивченням мікрохвильової техніки. Впровадити результати рекомендується в НТУ України «КПІ», Запорізькому національному технічному університеті, Харківському національному університеті радіоелектроніки, ХНУ ім. Каразіна, науково-технічному центрі КП НПК «Іскра».

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів. Достовірність і обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій, отриманих в дисертаційній роботі, визначається використанням апробованих методів математичної фізики і теорії дифракції, строгостю проведених математичних викладок, збігом результатів теоретичних і експериментальних досліджень, позитивним досвідом впровадження отриманих результатів в промисловості, підтвердженням актом про впровадження.

Оцінка змісту дисертації. Дисертація написана логічно та грамотно, оформлена акуратно і згідно ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення». Викладений матеріал систематизований та переконує в достовірності як теоретичних, так и експериментальних даних. Текст містить достатню кількість таблиць та ілюстрацій. Посилання на літературні джерела коректні.

Оцінка ідентичності змісту автореферату і основних положень дисертації. Структура автореферату ідентична структурі дисертації. Текст автореферату повною мірою відображає основні положення дисертації.

Повнота публікацій. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень представлені в 7-ми статтях, з яких 5 - статті в спеціалізованих фахових виданнях, 2 у зарубіжних журналах, в 8-ми публікаціях у збірниках наукових праць конференцій, в 1-му авторському свідоцтві Державної служби інтелектуальної власності України.

Апробація роботи. Теоретичні і практичні результати роботи пройшли достатню апробацію на міжнародних конференціях.

Впровадження роботи. Основне впровадження роботи проведено на ПАТ «НВП Сатурн» (м. Київ), є акт впровадження в учебний процес Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Недоліки та зауваження щодо оформлення та змісту дисертаційної роботи.

В цілому дисертаційна робота являє собою досить ясне і чітке викладення результатів проведених здобувачем наукових досліджень. Однак є недоліки щодо оформлення та змісту.

Зауваження щодо оформлення.

1. Порушена послідовність викладення матеріалу. У першому розділі тільки перераховані завдання дослідження без обґрунтування необхідності їх вирішення, а відповідний літературний огляд і обґрунтування поставлених завдань виконано в наступних розділах дисертації.

2. Є описки та неточності в тексті, наприклад: на стор. 52 замість триланкової структури написано «для дев'ятиланкової структури»; умова (3.73) записано без посилання на літературне джерело; немає пояснення позначень a і a_1 в формулах (3.1) - (3-9); символом a позначені як геометричні розміри, так і амплітуди хвиль; на малюнку 2.11 відстань до паразитної смуги зображена на некоректному рівні внутрішніх втрат; на малюнках 2.13, 2.14 та 2.16 не позначено, в яких розгалуженнях алгоритму виконується позитивний або негативний сценарій, поруч зі стрілками слід додати мітки «так», «ні».

Зауваження щодо змісту.

1. При розробці алгоритму інтелектуального синтезу не проведено експертну оцінку впливу на характеристики фільтра ширини резонатора і позамежних хвилеводів. Не пояснено вибір кроку варіювання параметрів, відсутній опис процедури корекції параметрів оптимізованої структури фільтра при підключені додаткових ланок. Не передбачено одночасну зміну декількох параметрів, що забезпечувало б більш ефективний пошук оптимуму в порівнянні з покоординатним спуском.

2. Відсутнє обґрунтування вибору базису з хвиль Е-ї Н-типу для аналізу резонатора з частковим заповненням в Е-площині, в той час, як випливає з літературних джерел (див., наприклад, Егоров Ю.В. Частично заполненные

прямоугольные волноводы. - М.: Сов. радио, 1967), більш продуктивним було б використання для краївих задач подібного класу базису з хвиль LE і LM типів.

3. Відсутній опис алгоритму розрахунку постійних поширення мод в хвилеводі з діелектричною вставкою з оцінкою похибки обчислень.

4. В розробленій математичній моделі фільтру відсутня оцінка втрат в металі і діелектику.

5. У розробленій системі, судячи з тексту дисертації, не передбачена можливість побудови графіків фазочастотної характеристики і характеристики групового запізнювання фільтру, що декілька звужує її можливості.

6. Проведене порівняння характеристик розроблених фільтрів на ХДР з відомими з літературних джерел зразками МПЛ-фільтрів не зовсім коректно, оскільки не наведено опис топології МПЛ-фільтрів.

Приведені зауваження не є визначними і не знижують загальний рівень проведених досліджень.

Загальний підсумок. Дисертація відповідає паспорту спеціальності, за якою вона подана до захисту. Дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримано нові наукові і практичні результати, що в сукупності вирішують важливу наукову задачу синтезу та оптимізації конструкцій НВЧ-фільтрів на основі частково заповнених резонаторів за допомогою технологій штучного інтелекту, а саме експертних систем.

Вважаю що дисертаційна робота за своєю актуальністю, новизною, практичною цінністю і достовірністю отриманих результатів повністю відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема, п. 11.9 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567, а її автор, Мамедов Довлет Байрамович, заслуговує на присвоєння вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.12.07 – Антени та пристрой мікрохвильової техніки.

Офіційний опонент д.т.н., професор,
зав. кафедрою захисту інформації
Запорізького національного технічного
університету МОН України

Л.М. Карпуков

Підпис Карпукова Л.М. затверджую
вчений секретар ЗНТУ, д.т.н., професор

В.В. Наумик

