

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. Для подальшого розвитку та вдосконалення систем зв'язку, радіолокації і радіонавігації в НВЧ діапазоні довжин хвиль потрібно покращення функціональності фільтрів, які є одними з найпоширеніших пристрой в радіотехнічних системах. Підвищення вимог до габаритних показників, перешкодозахищеності передачі інформації, електромагнітної сумісності, а також застосування шумоподібних сигналів в техніці зв'язку і радіолокації обумовлює створення та мініатюризацію фільтрів НВЧ діапазону з застосуванням елементів на базі хвилеводно-діелектричних резонаторів. Зазначене вище обумовлює актуальність дисертаційної роботи, метою якої є розробка методу синтезу та оптимізації конструкцій НВЧ фільтрів на основі хвидеводно-діелектричних резонаторів.

Загальна характеристика роботи. У першому розділі автором проводиться аналіз літературних джерел, які відповідають тематиці та задачам дисертаційної роботи. Окреслено основи машинного проектування НВЧ пристрой, наведено недоліки традиційних методів оптимізації, а також сучасних методів оптимізації на основі штучного інтелекту (евристичні, штучні нейронні мережі тощо). Розглянуто системи автоматизованого проектування НВЧ пристрой, підкреслено проблему оптимізації пристрой цими системами.

Другий розділ присвячено створенню нового методу синтезу і оптимізації конструкцій НВЧ фільтрів на основі хвилеводно-діелектричних резонаторів, що є частково заповненими в Н- або Е- площині. Цей метод спирається на технологію штучного інтелекту — експертні системи. Автор аргументує вибір цієї технології в якості альтернативи існуючим системам автоматизованого проектування НВЧ пристрой, що використовують універсальні евристичні методи оптимізації. Послідовно і детально описано етап наповнення бази знань експертної системи електродинамічно обґрутованими правилами. Описано спосіб поступової оптимізації конструкції фільтру як за основними параметрами (центральна частота та ширина смуги), так і за додатковими параметрами: коефіцієнт прямокутності АЧХ, полюс характеристики загасання фільтра, відстань до паразитної смуги.



У третьому розділі представлено виведення математичних моделей НВЧ фільтрів з частковим заповненням в Н- і Е- площині. Автор використав такі відомі математичні методи, як узагальнена матриця розсіювання і метод часткових областей. Використання методу узагальненої матриці розсіювання дозволяє точно розраховувати конструкції фільтрів у всьому дослідженому діапазоні довжин хвиль, контролювати збіжність розв'язків. Для підвищення точності розрахунків і зменшення процесорного часу на проектування автором проведено дослідження збіжності запропонованих моделей та визначено необхідну кількість мод для досягнення достатньої точності.

Четвертий розділ присвячений створенню програмного забезпечення на основі запропонованого інтелектуального методу. Згідно обраної автором ітеративної моделі розробки програмного забезпечення, виконано такі завдання, як: аналіз вимог, проектування (в тому числі і розробка користувальницького інтерфейсу), програмування, тестування та впровадження.

У п'ятому розділі автором проведено експериментальне дослідження отриманих результатів. Дослідження показало, що розроблений метод і програмне забезпечення на його основі є працездатними, а похибка розрахунків не перевищує двох відсотків. Крім цього в розділі вирішено такі практичні завдання: проведено порівняльний аналіз розрахованих фільтрів на хвилеводно-діелектричних резонаторах з фільтрами на мікросмужкових резонаторах, розраховано конструкції для сучасних радіорелейних і космічних систем.

Найбільш значущими **новими результатами**, що отримані у роботі, я вважаю такі:

- розроблено метод синтезу та оптимізації багатоланкових НВЧ фільтрів на основі хвилеводно-діелектричних резонаторів, що побудований на строгих математичних моделях, та 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.
- розроблено строгі математичні моделі НВЧ фільтрів з частково заповненими хвилеводно-діелектричними резонаторами з використанням методів узагальненої матриці розсіювання і методу часткових областей, які дають можливість враховувати довільну кількість хвиль не тільки в регулярному але і у позамежному хвилеводі.
- розроблено спосіб оптимізації конструкцій НВЧ фільтрів на основі частково заповнених хвилеводно-діелектричних резонаторів за такими параметрами як: коефіцієнт прямоутності, положення полюса характеристики загасання фільтра, відстань до паразитної смуги.

Сформульована в дисертації наукова новизна одержаних результатів, **обґрунтованість наукових положень**, висновків та рекомендацій, що надані в роботі, не викликають сумнівів, адже усі задачі сформульовано коректно, для їх розв'язання автор застосував відомі методи математичної фізики, проведено порівняння отриманих розрахункових результатів з результатами експериментальних вимірювань.

Практичне значення результатів дисертації Д. Б. Мамедова визначається можливістю використання розробленого програмного забезпечення для значно простішого та більш швидкого проектування НВЧ фільтрів на хвилеводно-діелектричних резонаторах на підприємствах, що розробляють НВЧ апаратуру. Це, зокрема, підтверджується і актом **впровадження** на ПАТ "НВП "Сатурн". Про практичну цінність свідчить також те, що результати роботи використано при розробці високочутливої НВЧ апаратури у межах науково-дослідної роботи «Розробка, виготовлення і постачання радіоастрономічної приймальної системи (РПС) для оснащення антен малих радіотелескопів».

Апробація роботи та повнота опублікованих результатів. Основні результати достатньо повно опубліковано в наукових журналах та збірках наукових праць (7 статей), зокрема і в закордонних англомовних виданнях (2 статті), та в 1 авторському свідоцтві. Результати також широко апробовано на конференціях (8 публікацій у збірниках наукових). Слід відзначити, що результати досліджень були повідомлені науковим керівником на міжнародній конференції: International Conference and Exhibition on Satellite, At August 17-19, 2015 Houston, Texas, USA, ця доповідь була відзначена грамотою оргкомітету як така, що є значним науковим вкладом.

Зміст та структура автореферату відповідає викладеним у дисертації етапам проведення дослідження, а також основним положенням та висновкам дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації. Відзначаючи високу наукову та практичну значимість роботи та підтверджуючи обґрунтованість висновків й результатів, що отримані в дисертації, не можна не відзначити й кілька зауважень:

- При застосуванні хвилеводів з частковим діелектричним заповненням слід пам'ятати, що поля у такому хвилеводі є гібридними, відповідно, анізотропією діелектричної сталої не слід нехтувати (це, зокрема, стосується застосування лейкосапфіру).
- При порівнянні розрахункових результатів з експериментальними (підрозділ 5.1) автор наводить лише числові характеристики вимірювань

(вимірюна частотна смуга по рівню 0,5 дБ), графіки ж наводяться лише для розрахованих АЧХ, що не дозволяє оцінити точність визначення інших заявлених параметрів, таких як коефіцієнт прямокутності, положення паразитної смуги, втрати у смузі пропускання тощо.

- При описі правил експертної системи застосовуються рекомендації типу "увеличить/уменьшить длину", але не вказується на яку величину (постійний крок, процент тощо). В обґрунтуванні вказано очікуваний тип залежності характеристик системи від змінюваних параметрів, отже в процесі "інтелектуального" синтезу було б доцільним вказувати не лише напрямок зміни параметру, а й оцінку розміру кроку, на який слід змінити параметр.
- Процес синтезу описано як досягнення визначених параметрів, натомість було б доцільно також забезпечити режим оптимізації, тобто визначення максимально досяжних параметрів (наприклад, коефіцієнту прямокутності) при накладених обмеженнях (кількість ланок фільтру).
- При проектуванні фільтрів з високою добротністю, на мою думку, було б доцільно також враховувати втрати у металевих стінках хвилеводів, а також проводити аналіз чутливості фільтру до похибок у геометричних розмірах елементів.
- Аналіз збіжності моделі (рис. 3.6-3.7) проведено лише для поодинокого резонатору, але у багатоланкових фільтрах кількість мод, що мають бути враховані, визначатиметься не лише взаємодією полів резонатору з переходом до живлючого хвилеводу, а й взаємодією між сусідніми резонаторами.
- Є єдино технічні зауваження: на малюнку 3.3 не наводиться пояснення до абревіатур PEW, PMW, на стор. 36 замість "пропорциональны корню частоты" має бути "пропорциональны корню диэлектрической проницаемости", на стор. 53 вжито термін "стоимостной функции" замість більш звичного терміну "целевой функции".

Загальний висновок по дисертації, не зважаючи на зазначені зауваження, є **позитивним**. Дисертаційна робота Д. Б. Мамедова «Інтелектуальний синтез та оптимізація конструкцій НВЧ-фільтрів на основі частково заповнених хвилеводно-діелектричних резонаторів» є завершеною працею, а наведені в ній науково обґрунтовані результати є значним внеском у розробку методів проектування НВЧ приладів, зокрема НВЧ фільтрів на хвилеводно-діелектричних резонаторах, що є важливим для розвитку радіотехнічної промисловості України. У відповідності до паспорту спеціальності 05.12.07 – антени та пристрої мікрохвильової техніки тема, об'єкт та предмет дослідження відповідають формулі спеціальності та області досліджень за такими пунктами:

- пристрой мікрохвильової техніки антенних трактів, приймальних трактів, передавальних трактів, гетеродинних і синтезаторних пристрой, трактів накачування та ін.;
- математичні моделі, алгоритми та програми для проектування антен і пристрой мікрохвильової техніки.

Дисертацію побудовано у логічній послідовності, викладений матеріал добре систематизовано, текст супроводжується необхідною кількістю таблиць та ілюстрацій. Достатньо повний список літературних джерел (150 найменування) може в подальшому бути використаний для аналізу сучасного стану розвитку методів синтезу та оптимізації НВЧ приладів та для вибору напрямку нових досліджень.

З урахуванням формальних ознак (впровадження, апробація, публікації), а також актуальності, наукової новизни, теоретичної та практичної значущості отриманих результатів вважаю що дисертаційна робота Д. Б. Мамедова «Інтелектуальний синтез та оптимізація конструкцій НВЧ-фільтрів на основі частково заповнених хвилеводно-діелектричних резонаторів» повністю відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема, п. 9, 11 чинної редакції «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», 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.ф.-м.н., доцент,
проводний науковий співробітник, професор
кафедри теоретичної радіофізики
Харківського національного університету імені
В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України

О. Ю. Бутрим

