

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.002.14
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського» доктору технічних наук,
професору Ільченку М. Ю.

03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37, корп. 1

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Булашенко Андрія Васильовича

на тему: **“Конструктивний синтез компактних хвилевідних пристроїв
перетворення поляризації електромагнітних хвиль”**,

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.12.13 — Радіотехнічні пристрої та засоби
телекомунікацій

Актуальність теми дисертаційної роботи

У сучасних радіотехнічних системах різного призначення широко використовують антени із поляризаційним обробленням радіосигналів. Актуальною є задача розробки і оптимізації нових методів конструктивного синтезу пристроїв перетворення поляризації електромагнітних хвиль (поляризаторів), які є важливими елементами таких систем, оскільки саме вони використовуються для перетворення сигналів з коловою поляризацією в сигнали з лінійною поляризацією в приймальних антенах та для перетворення сигналів з лінійною поляризацією в сигнали з коловою поляризацією в передавальних антенах.

Методи розробки поляризаторів полягають, в основному, в точному електродинамічному моделюванні. Великих часових та обчислювальних ресурсів потребує конструктивна оптимізація таких пристроїв. Значне зменшення таких ресурсів можливе при використанні аналітичних підходів в однохвильовому наближенні, що дозволяють виявити аналітичні зв'язки між характеристиками пристроїв та необхідними параметрами фазозсувних елементів і відстаней між ними для конструктивного синтезу компактних хвилеводних поляризаторів з невеликою кількістю реактивних елементів.

Таким чином, актуальною є тема дисертаційних досліджень, спрямованих на вдосконалення існуючих та створення нових ефективних наближених методів конструктивного синтезу компактних поляризаторів із заданими характеристиками на основі діафрагм та штирів у хвилеводі.

Дисертаційні дослідження пов'язані з виконаними на кафедрі радіоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках науково-технічної роботи за державним замовленням на науково-технічну продукцію (Розроблення системи високоточного автоматичного супроводу низькоорбітальних супутників дистанційного зондування Землі, номер державної реєстрації 0118U005459).

Наукова новизна отриманих результатів

Найбільш істотними новими науковими результатами дисертації є:

1. Удосконалено параметричний метод наближеного конструктивного синтезу компактних поляризаторів на основі реактивних елементів у квадратному хвилеводі, в якому, на відміну від існуючих, у математичних моделях фазозсувних елементів враховано вищі типи хвиль, а параметрична оптимізація здійснюється шляхом поєднання створених математичних моделей поляризаторів на основі діафрагм та/або штирів у квадратному хвилеводі та методу довірчого інтервалу, що дозволяє значно підвищити точність та ефективність конструктивного синтезу.

2. Уперше запропоновано та розроблено аналітико-числовий метод наближеного конструктивного синтезу пристроїв перетворення поляризації ЕМХ на основі трьох діафрагм у квадратному хвилеводі, в якому, на відміну від існуючих, параметрична оптимізація здійснюється, виходячи зі створеної математичної моделі у вигляді однохвильової матриці розсіювання та сформульованої системи рівнянь четвертого порядку, яка містить умови синтезу і розв'язком якої є геометричні розміри синтезованого поляризатора, що забезпечує у заданій смузі частот мінімальне відхилення диференціального фазового зсуву від 90° , максимально плоску ФЧХ та найкраще узгодження.

3. Уперше запропоновано та розроблено аналітичний метод наближеного конструктивного синтезу компактних пристроїв перетворення поляризації ЕМХ на основі двох та трьох діафрагм або штирів у квадратному хвилеводі, в якому, на відміну від існуючих, спочатку здійснюється аналітичний синтез поляризатора на основі математичної моделі, створеної шляхом розв'язання задачі поширення електромагнітної хвилі у хвилеводі з трьома

недисипативними неоднорідностями методом багатократних відбиттів в однохвильовому наближенні, в результаті чого визначаються необхідні значення параметрів фазозсувних елементів (провідності та елементи матриці розсіювання) та електрична відстань між ними, при яких забезпечується заданий (потрібний) фазовий зсув та відсутність відбиття, а потім здійснюється конструктивний синтез, виходячи з умови рівності необхідних та реальних значень параметрів фазозсувних елементів та їх похідних на центральній частоті робочого діапазону частот. В результаті визначаються реальні оптимальні (в околі глобального екстремуму) геометричні розміри поляризаторів, які забезпечують максимально плоску фазо-частотну характеристику і які можна використати як самостійно в наближеному конструктивному синтезі, так і в якості початкових розмірів поляризатора (фазозсувача) в процесі його багатокритеріальної оптимізації з метою кардинального пришвидшення пошуку глобального екстремуму при високоточному конструктивному синтезі такого пристрою на електродинамічному рівні з урахуванням вищих типів хвиль та взаємодії між неоднорідностями на вищих типах хвиль.

Практичне значення отриманих результатів

1. Удосконалений параметричний метод наближеного конструктивного синтезу можна використовувати для синтезу компактних поляризаторів на основі 3-х та 4-х неоднорідностей (діафрагм, штирів) у квадратному хвилеводі. Сформульовано рекомендації щодо вибору початкових геометричних розмірів конструкції компактних поляризаторів з огляду на мінімізацію обчислювальних ресурсів для досягнення оптимальних співвідношень між електричними характеристиками пристрою. На основі дослідження чутливості електричних характеристик поляризатора до відхилень його геометричних розмірів від оптимальних дано рекомендації щодо допусків на його виготовлення. За допомогою запропонованого методу синтезовано поляризатори С-діапазону частот (3,4–4,2 ГГц) та Ku-діапазону частот (11,7–12,5 ГГц), придатні для застосування на практиці.

2. Розроблений аналітико-числовий метод наближеного конструктивного синтезу хвилеводних поляризаторів може слугувати ефективним інструментом для розробки компактних поляризаторів на основі трьох діафрагм у квадратному хвилеводі з максимально плоскою фазо-частотною характеристикою. Ефективність цього методу у порівнянні з методом скінчених

елементів підтверджено на прикладах синтезу хвилеводних поляризаторів X-діапазонів частот 7,25–8,6 ГГц, 7.75-8,5 ГГц та 8.0-8.5 ГГц для антенних систем земних станцій супроводження низькоорбітальних супутників дистанційного зондування Землі.

3. Розроблений аналітичний метод наближеного конструктивного синтезу поляризаторів на основі двох та трьох реактивних елементів у квадратному хвилеводі є ефективним інструментом для синтезу поляризаторів з максимально плоскою фазо-частотною характеристикою. Складова частина цього методу – аналітичний синтез – дає можливість однозначно визначити параметри реактивних елементів (значення їх провідностей та елементів матриці розсіювання) та електричну відстань між ними, які забезпечують потрібні електричні характеристики пристрою. Метод дозволяє швидко отримати геометричні розміри пристрою, що є близькими до оптимальних в околі глобального екстремуму. Цим методом здійснено конструктивний синтез оригінального керованого поляризатора на основі трьох ємнісних штирів у круглому хвилеводі для робочого діапазону частот 8,8-9,6 ГГц. Розроблений метод можна рекомендувати для синтезу таких компактних поляризаторів, а також для отримання початкових значень параметрів пристрою при пошуках глобального екстремуму в процесі багатокритеріальної оптимізації характеристик поляризаторів на електродинамічному рівні з урахуванням вищих типів хвиль та взаємодії між фазозсувними елементами по вищих типах хвиль.

4. Встановлено, що у випадку побудови поляризатора на основі двох або трьох металевих штирів у квадратному хвилеводі можна отримати максимально плоску ФЧХ і сумістити на середній частоті робочого діапазону частот екстремальне значення ДФЗ 90° та відсутність відбиттів. Показано, що можна синтезувати поляризатор на основі двох ємнісних штирів у квадратному хвилеводі з максимально плоскою ФЧХ у смузі частот 4% при значенні КСХН ≤ 1.22 (відбивається менше 1% енергії) і ДФЗ $\Delta\varphi=90^\circ\pm 1^\circ$ та у смузі частот 10% із значенням КСХН ≤ 1.91 (відбивається менше 10% енергії) та ДФЗ $\Delta\varphi = 90^\circ \pm 2^\circ$. Також показано, що на основі трьох ємнісних штирів у квадратному хвилеводі можна синтезувати поляризатор з максимально плоскою ФЧХ у смузі частот 10% при значенні КСХН ≤ 1.22 і ДФЗ $\Delta\varphi = 90^\circ \pm 1^\circ$ та у смузі частот 18% при допустимому відбитті до 10% енергії і ДФЗ $\Delta\varphi = 90^\circ \pm 2^\circ$.

Обґрунтованість та достовірність отриманих наукових результатів

Наукові положення і висновки, які зроблено автором дисертації, обґрунтовані коректно, відповідно до поставлених і розв'язаних задач.

Достовірність отриманих в дисертаційній роботі наукових результатів підтверджується:

1. Коректною постановкою задачі, використанням відповідного математичного апарату і використанням вихідних даних, максимально наближених до реальних.

2. Використанням світового досвіду у формі детального аналітичного огляду наукових публікацій за тематикою дослідження.

3. Значною кількістю експериментальних даних, отриманих шляхом дослідження експериментальних зразків та комп'ютерного моделювання у програмі CST Microwave Studio, та порівняльним аналізом отриманих результатів з іншими методами.

4. Проведеною експертизою наукових результатів на предмет новизни та отриманими патентами.

Повнота викладення результатів дослідження в опублікованих працях

Результати досліджень, які викладені у дисертації, доповідались на міжнародній конференції "2020 IEEE 7th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology" (Харків, 2020 р.), XI міжнародній конференції "2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory" (Київ, 2020), міжнародній конференції "2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering" (Львів, 2021 р.), міжнародній конференції "2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week" (Київ, 2022 р.).

Основні результати досліджень опубліковано у 27 наукових працях, у тому числі у 17 статтях у міжнародних наукометричних базах SCOPUS та/або Web of Science (із них 6 статей у фахових виданнях категорії А), у 1 статті у науковому фаховому виданні категорії А, у 5 статтях у фахових виданнях категорії Б, і у 4 тезах доповідей у збірниках матеріалів конференцій IEEE, що входять у базу SCOPUS.

Зміст статей і доповідей направлено на вирішення задач дисертації.

Оцінка змісту та завершеності дисертаційної роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 102 посилань, та одного додатка. Загальний обсяг дисертації становить 197 сторінки.

У першому розділі зроблено огляд сучасних методів синтезу конструкцій поляризаційних пристроїв.

У другому розділі дисертації удосконалено параметричний наближений метод конструктивного синтезу пристроїв перетворення поляризації на основі квадратного хвилеводу із діафрагмами та штирями в однохвильовому наближенні. В результаті створено поляризаційні пристроїв на основі квадратного хвилеводу із діафрагмами та із діафрагмами і штирями.

У третьому розділі дисертації виконано розробку аналітико-числового методу конструктивного синтезу поляризаційних пристроїв на основі квадратного хвилеводу із трьома діафрагмами в однохвильовому наближенні. Синтезовано хвилеводні поляризатори з максимально плоскою залежністю диференціального фазового зсуву від частоти для робочих діапазонів частот 7,25-8,6 ГГц, 7,75-8,5 ГГц та 8,0-8,5 ГГц. Показано, що запропонований метод забезпечує на центральних частотах робочих діапазонів частот синтезованих поляризаторів значення диференціального фазового зсуву $90^\circ - \Delta\varphi_0$ ($\Delta\varphi_0 \leq 4^\circ$) для хвиль з ортогональними лінійними поляризаціями.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробці аналітичного методу конструктивного синтезу компактних поляризаторів на основі хвилеводу із двома та трьома реактивними елементами у вигляді діафрагм та штирів у напівхвильовому наближенні. Розроблений метод дає можливість визначити конструктивні розміри таких поляризаторів з максимально плоскою залежністю диференціального фазового зсуву від частоти.

У висновках дисертаційної роботи відображено основні отримані наукові результати та наведено рекомендації щодо їх застосування.

Таким чином, дисертація Булашенко А. В. є завершеною науковою працею.

Оцінка дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота пройшла перевірку на унікальність тестового наповнення, яка засвідчила її відповідність принципам академічної доброчесності. Всі посилання на використані джерела оформлені коректно.

Загальна оцінка дисертації та автореферату

Дисертація та автореферат відповідають вимогам до науково-технічних текстів і паспорту спеціальності 05.12.13 — Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. Зміст автореферату в повній мірі відображає зміст дисертації. Автореферат містить основні положення, результати та висновки здійсненого дослідження. Матеріали дослідження викладено грамотно, діловою мовою, логічно і послідовно. Робота добре оформлена і є завершеним науковим дослідженням. Висновки дисертаційної роботи відповідають змісту.

Зауваження щодо дисертаційної роботи

Поряд із позитивною оцінкою дослідження, необхідно звернути увагу на деякі положення дисертаційної роботи, які мають дискусійний характер, містять недоліки чи потребують додаткового обґрунтування:

1. Автор лише у третьому розділі дав визначення, що таке «конструктивний синтез». На мій погляд, з цього треба було почати і приділити цьому терміну більшу увагу стосовно рішень поставленого наукового завдання.

2. У першому розділі наводиться широкий огляд видів і характеристик різних поляризаторів. Однак яких характеристик хоче досягти здобувач з огляду та постановки завдання не має. Відсутні також вимоги до поляризаторів. Було б доречно подати підсумки огляду у вигляді порівняльних таблиць, методів розрахунку параметрів та проблемних питань щодо конструкції.

3. З позицій теорії кіл поляризатор представляється як пристрій, що має два входи та два виходи – тобто у вигляді восьмиполюсника. Автор досліджує характеристики квадратного хвилеводу без елементів сполучення поляризатора з хвилеводним трактом, нехтуючи параметрами елементів сполучення.

4. При оптимізації каскадних структур не поляризаторів широко використовуються методи синтезу характеристик пристроїв за допомогою поліномів. На деяких оптимальних конструкціях, отриманих у роботі

залежності КСХН, якісно нагадують поліноми Чебишева. Бажано, щоб автор у майбутніх дослідженнях звернув на це увагу.

5. Деякі малюнки та формули в розділах 2 і 3 точно повторюються і їх не обов'язково наводити.

6. Фінальні результати для аналізу параметрів у розділах 2 та 3 однакові. Деякі можна опустити без шкоди цілісності роботи.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Булашенка Андрія Васильовича на тему “Конструктивний синтез компактних хвилевідних пристроїв перетворення поляризації електромагнітних хвиль” є завершеною науковою роботою, в якій автором вирішено важливу науково-технічну задачу створення нових методів конструктивного синтезу компактних пристроїв перетворення поляризації електромагнітних хвиль на основі діафрагм та штирів у хвилеводах в однохвильовому наближенні.

Вважаю, що дисертаційна робота “Конструктивний синтез компактних хвилевідних пристроїв перетворення поляризації електромагнітних хвиль ” відповідає всім вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), що висуваються до кандидатських дисертацій, а здобувач Булашенко Андрій Васильович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 — Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент

професор кафедри аеронавігаційних систем
Національного авіаційного університету,
доктор технічних наук, професор
Заслужений машинобудівник України

18/11

В. В. Конін

Підпис гр.

з а с в і д ч у ю

Вчений секретар

Національного авіаційного університету

М. Мельничук

