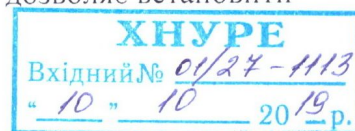


ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Самойлика Сергія Сергійовича "Розвиток методів та моделей аналізу хвилеводно-резонаторних систем з частковим багатошаровим заповненням", яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Актуальність теми. Одними із основних елементів електромагнітних пристроїв різноманітного призначення є мікрохвильові хвилеводні та резонаторні структури. Знання спектральних та енергетичних характеристик таких структур, особливо їх власних параметрів таких як: власні частоти і добротності, а також розподілів полів їх власних коливань є необхідними для розробки та вдосконалення приладів НВЧ діапазону. У сантиметровому діапазоні довжин хвиль невід'ємними елементами пристроїв є різного роду хвилеводні тракти, які містять діелектрики, ферити або напівпровідники. Особливий інтерес виникає до хвилеводно-діелектричних елементів з матеріалами з великими втратами (рідинами). Зокрема, такі елементи придатні для використання їх як мікрохвильові сенсори для визначення електрофізичних параметрів речовин. Ситуація ускладнюється, коли виникає необхідність неруйнівного контролю електричних параметрів діелектриків при їх транспортуванні або виготовленні. Цілком очевидно, що універсального пристрою для розв'язання цієї задачі розробити не є можливим. Але в деяких випадках, наприклад, при виготовленні складових елементів радіофізичних пристроїв конкретної конфігурації розробка мікрохвильових сенсорів є реалізуємою. Запропоновані в дисертації хвилеводні структури з діелектричними заповненнями є придатними як сенсори для визначення або контролю електричних параметрів локальних об'ємів матеріалів з плоскою паралельними площинами або круглої циліндричної форми. Створення приладів, які здатні визначати і контролювати стан фізичного об'єкта або навколишнього середовища, є однією з основних тенденцій сучасного приладобудування. Це тісно пов'язано з розробкою нових і вдосконаленням існуючих методів аналізу хвилеводно-резонаторних систем з багатошаровим частковим заповненням. Особлива складність виникає, коли речовини, які досліджуються, мають великі значеннями тангенсів кутів втрат. Тут без наявності адекватних математичних моделей ще важче провести кількісне та якісне дослідження властивостей речовини, що входить складовою частиною в мікрохвильовий сенсор або є основою сенсора. Такі моделі дозволяють обґрунтовано вибирати робочі моди, що є найбільш прийнятні для конкретних застосувань, розробляти достовірні методики оптимізації пристроїв і непрямого вимірювання електрофізичних параметрів матеріалів сенсорів. Сфера застосування хвилеводно-діелектричних пристроїв постійно розширюється завдяки використанню матеріалів з відомими властивостями або вдосконалення конфігурацій, характеристики яких, як правило, досліджуються експериментально і потребують достовірного фізичного трактування на основі адекватної математичної моделі.

Відомі аналітичні методи розв'язання крайових задач, які пов'язані з розсіюванням електромагнітних хвиль на неоднорідностях, дозволяють отримати розв'язки обмеженої кількості ідеалізованих задач. Ці методи розв'язання крайових задач призводять до розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь або систем звичайних диференціальних рівнянь. Розвиток техніки НВЧ вимагає рішення безлічі практичних задач, які можуть бути в теоретичному плані отримані тільки наближеними методами. Під час аналізу хвилеводних структур з кусково-однорідним періодичним середовищем крайова задача ефективно розв'язується за допомогою використання методів, що призводять до систем інтегральних рівнянь для виділених часткових дотичних областей. Однак для розрахунку хвилеводних структур з нерегулярними неоднорідностями у вигляді діелектричних заповнень більш раціональним є використання методу часткових пересічних областей (МЧПО). Це пов'язано з особливостями розв'язання граничної задачі, що вигідно відрізняють МЧПО від широкозастосовуваного (можна сказати — традиційного) методу "зшивання": 1) розбиття області складної конфігурації, в якій визначається електромагнітне поле, здійснюється на основні та додаткові часткові пересічні області виходячи з фізичних міркувань, що дозволяє встановити



початкові наближення в розв'язанні задачі; 2) інтегральні рівняння, що отримуються, є рівняннями Фредгольма другого роду (а не першого); 3) інтегральний оператор включає в себе перемноження функцій Гріна, які не мають особливостей, оскільки точки джерел і спостереження для них рознесені (належать різним поверхням); 4) система лінійних алгебраїчних рівнянь, що отримується, є системою другого роду (а не першого).

Дисертація С. С. Самойлика якраз і присвячена вивченню фізичних явищ в трактах хвилеводно-діелектричного типу із застосуванням МЧПО. Тракти, що вивчені ним, можуть бути використані для діагностики стану матеріального середовища і створення нових приладів різного призначення. Ця задача є однією із актуальних задач сучасної радіофізики.

У світлі сказаного, тема дисертаційної роботи Самойлика С. С. є актуальною як в теоретичному, так і прикладному відношенні. Мета роботи полягає в розвитку МЧПО для розв'язування спектральних задач електродинаміки, які пов'язані з дослідженнями провідних хвилеводно-резонаторних структур з багатошаровими частковими заповненнями діелектричними речовинами. Додатковим підтвердженням актуальності теми є входження обраної тематики в наукові програми НАН України та Міністерства освіти і науки України. Як впливає з матеріалів дисертації, вона виконана в рамках держбюджетної НДР в Національному університеті "Запорізька політехніка" на кафедрі радіотехніки та телекомунікацій. Крім того, результати дисертаційної роботи вже використовуються в навчальному процесі дисциплін першого рівня (бакалаврського) "Технічна електродинаміка" і "Електронні та квантові пристрої НВЧ", про що свідчить акт про впровадження.

Обґрунтованість наукових положень дисертації впливає з того, що вони базуються на результатах кількісного і якісного аналізу адекватних електродинамічних моделей хвилеводно-діелектричних пристроїв і резонаторів. Ці моделі побудовано на основі МЧПО і розв'язувань рівнянь Максвелла для провідних хвилеводів і резонаторів прямокутних конфігурацій і циліндричних діелектричних структур зі взяттям до уваги граничних умов на металевих поверхнях і поверхнях розподілів середовищ, а також умов випромінювання на нескінченності, які були використані як початкові наближення в розв'язуваннях спектральних задач. На етапі чисельного аналізу були використані добре відомі методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Вірогідність отриманих кількісних результатів і якісних висновків обумовлено обґрунтованістю теоретичних моделей, що працюють на симетричних коливаннях Н-типу; використанням добре апробованого чисельного методу пошуку коренів системи однорідних лінійних алгебраїчних рівнянь. Результати, що отримані, обґрунтовано за допомогою використання фундаментальних принципів фізики, що забезпечує коректність математичних моделей електродинамічних структур, які були досліджені.

Наукова новизна результатів і висновків дисертації полягає у наступному:

1. Набув подальший розвиток метод часткових пересічних областей (МЧПО) електродинамічного аналізу для екранованих прямокутних хвилеводно-резонаторних структур з двошаровими діелектричними заповненнями у вигляді паралелограмів і співвісних циліндрів, а також комбінації паралелограма і циліндра.
2. Вперше запропоновано математичну модель електродинамічного аналізу для екранованого прохідного хвилеводно-резонаторного тракту, що стикається вздовж вузької стінки з двошаровим діелектричним паралелограмом, один шар якого може бути рідиною. Розроблено математичну модель екранованого прохідного резонатора з багатошаровим заповненням діелектричними середовищами в умовах сильного та слабого зв'язків з хвилеводом.

Наукова і практична значущість роботи полягає в тому, що в ній на основі побудованих фізико-математичних моделей розроблено відповідний комплекс обчислювальних програм для розрахунку і дослідження параметрів і характеристик хвилеводно-діелектричних резонаторних пристроїв різноманітної конфігурації зі взяттям до уваги особливостей властивостей матеріалів, з яких вони виготовлені. Зазначу, що створені математичні моделі і програмне забезпечення дозволяють розробити та практично реалізувати методи-

ки визначення електрофізичних параметрів ізотропних діелектричних середовищ, в тому числі рідин, в сантиметровому діапазоні довжин хвиль. Це розширює можливості радіофізичних методів вимірювань, які можуть бути використані при розробці автоматизованих вимірювальних систем для визначення і технологічного контролю діелектричної проникності локальних об'ємів плоско паралельних або циліндричних матеріалів.

Наукова і практична значущість дисертаційної роботи підтверджується також тим, що її результати (розроблені математичні моделі) плануються до використання при розробці нових радіолокаційних станцій КП НВК "Іскра", про що свідчить акт про впровадження. Серед можливих шляхів використання результатів дисертації можна назвати впровадження математичних моделей на основі методу інтегральних рівнянь і МЧПО для електродинамічного аналізу екранованих хвилеводно-резонаторних структур з багатошаровим частковим заповненням діелектричними середовищами у практику конструкторських і проектних організацій, які займаються розробкою НВЧ апаратури різного призначення. Варто розширити впровадження матеріалів дисертації в навчальний процес підготовки магістрантів зі спеціальностей 010 – природні науки.

Зауваження та недоліки. Підтверджуючи обґрунтованість висновків і отриманих результатів, необхідно зробити наступні зауваження:

1. Метод часткових пересічних областей передбачає розкладання електричних і магнітних полів у складному обмеженому об'єкті за власними функціями простих об'єктів, на які він розбивається, у вигляді нескінченних рядів. На етапі чисельного аналізу в розроблених математичних моделях представлених хвилеводно-резонаторних структур з багатошаровим частковим заповненням діелектричними середовищами здійснюються обмеження кількостей власних функцій в розкладаннях і, отже, порядків систем однорідних лінійних алгебраїчних рівнянь. У дисертації варто було привести критерій вибору кількості власних функцій в розкладаннях і формування систем алгебраїчних рівнянь кінцевого порядку. Крім того, необхідно було б вказати умови застосовності таких обмежень в рамках математичних моделей.
2. Математичні моделі, що розроблені автором, враховують тільки симетричні власні моди Н-типів прямокутного і циліндричного діелектричного резонаторів, поля яких однорідні по координаті Y і азимутальній координаті φ відповідно. Виникає зацікавленість до досліджень властивостей розглянутих неоднорідних хвилеводно-резонаторних структур з власними коливаннями, по-перше, Е-типу і, по-друге, всього частотного спектра.
3. У другому розділі дисертації наводяться результати чисельних досліджень екранованого прямокутного резонатора, заповненого двома діелектричними шарами у вигляді паралелограмів, з власними хвилями якихось двох типів (рис. 2.4 і 2.5). Необхідно було розшифрувати, які це два типи хвиль. Явно, по-перше, під хвилями варто мати на увазі коливання. По-друге, кожен тип коливань — це конкретна власна мода резонатора, і відрізняються вони лише одним модовим індексом, наприклад, по координаті Z (тобто кількістю варіацій поля уздовж поздовжнього розміру резонатора).
4. Для повної вірогідності отриманих результатів варто було б провести експериментальні дослідження спектральних та енергетичних характеристик електродинамічних структур, що розглянуті в дисертації.
5. У роботі є помилки і описки оформлювального характеру. Зокрема, в інтегралах за об'ємом в формулах (3.3) і (3.4) відсутня змінна інтегрування по висоті резонатора — dy (уздовж координати Y). Виникає питання: чи може інтегрування вестись по поперечному перерізу резонатора? Тоді чому під інтегралом стоїть V_1 або V_2 ? У тексті дисертації зустрічається словосполучення "добротності для H_{m0n} типів коливань" [п. 2.3.6, стор. 56]. При описі комбінованої структури [п. 3.3] в текстах до рисунків 3.5 і 3.6 і на самому рис. 3.5 вказано розміри відстаней і радіуса циліндра без множника a — розміру широкої стінки прямокутного резонатора. У тексті зустрічаються і інші граматичні та стилістичні помилки.

Разом з тим, зазначені зауваження не порушують принципово суть роботи, не

впливають істотно на кінцеві результати досліджень, які виконані автором, не зменшують наукову значимість та актуальність дисертації і не знижують високу оцінку наукового рівня дисертаційної роботи. Зауваження 1 і 3 є рекомендацією автору викладати свої результати більш чітко і аргументовано. Зауваження 2 і 4 відносяться до пропозиції щодо розвитку подальших досліджень і вдосконалення розроблених математичних моделей на основі запропонованих методів. В цілому, висловлені зауваження та зазначені недоліки не знижують загальну позитивну оцінку роботи.

Загальна оцінка роботи. Переходячи до загальної оцінки дисертації, варто зазначити, що вона видається закінченим і цілісним дослідженням, з чіткою структурою та логічним поданням матеріалу і свідчить про персональний внесок автора в науку. Вона присвячена розв'язанню актуальної задачі радіофізики, яка пов'язана з теоретичними дослідженнями неоднорідних хвильоводно-діелектричних резонаторних структур. Такі структури, наприклад, є основою вимірювальних пристроїв для визначення електрофізичних параметрів речовин і НВЧ-фільтрів різного функціонального призначення. Результати дисертаційної роботи досить повно висвітлено в 15 публікаціях, які включають 5 статей, що опубліковані в журналах фахових видань України за спеціальністю 01.04.03, та 10 тез доповідей на наукових конференціях і симпозіумах. Стаття в журналі "Telecommunication and Radio Engineering" і 2 доповіді на міжнародних конференціях були включені до наукометричної бази Scopus. Аналіз публікацій автора показав, що вони мають всі необхідні елементи, які підкреслюють повноту і глибину розкриття питань, що розглядаються. Робота має широку апробацію на міжнародних наукових 7 конференціях та 1 симпозіумі, а також 1 науковій конференції молодих вчених та 1 науково-практичній конференції тижня науки. Дисертація написана з використанням прийнятої в даній науковій сфері термінології досить зрозуміло і логічно. Стил викладання матеріалу характеризується цілісністю, змістовною завершеністю, послідовністю і взаємозв'язком. Зміст і структура автореферату С. С. Самойлика в достатній мірі відповідають структурі, основним положенням і висновкам дисертації. Обсяг та оформлення дисертації відповідають існуючим вимогам.

Висновки по роботі в цілому. Дисертаційна робота С. С. Самойлика "Розвиток методів та моделей аналізу хвильоводно-резонаторних систем з частковим багатопарним заповненням" є завершеною працею. Результати, які відображені і науково обґрунтовані в ній, про властивості хвильоводно-діелектричних резонаторних структур є значним досягненням у розвитку радіофізики. За своєю актуальністю, новизною, науковою та практичною значущістю отриманих результатів дисертаційна робота задовольняє всім вимогам "Порядку присудження вчених ступенів", що пред'являються до кандидатських дисертацій за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Беручи до уваги вищевикладене, вважаю, що Самойлик Сергій Сергійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук

за спеціальністю радіофізика,

старший науковий співробітник

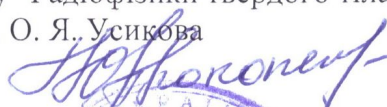
за спеціальністю фізика пучків заряджених частинок

і прискорювальна техніка,

провідний науковий співробітник відділу "Радіофізики твердого тіла"

Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова

НАН України

 Ю. В. Прокопенко

Підпис Прокопенка Ю. В. засвідчую.

Учений секретар ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України

канд. фіз.-мат. наук



І. Є. Почаніна