

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету
Козловського Валерія Валерійовича
на дисертаційну роботу Ліске Олексія Миколайовича
на тему «Підвищення ефективності випромінюючих компонентів інфокомунікаційних систем на основі щілинних ліній передачі»,
подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Дисертаційна робота Ліске О.М. присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності випромінюючих компонентів на основі щілинних ліній передачі для потреб інфокомунікаційних систем. У роботі методами аналітичних та експериментальних досліджень, а також шляхом чисельного моделювання, визначаються особливості формування електромагнітного поля випромінюючими компонентами на основі щілинних ліній передачі. Обґрунтовано доцільність використання методу наведених електро-рушійних сил для знаходження струмів на провідній поверхні випромінювача. На основі виконаних досліджень розроблено оптимальне конструктивне рішення для виготовлення щілинного ромбічного випромінювача та решітки декількох таких випромінювачів.

I. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Важливим компонентом сучасних систем передачі даних, телекомунікаційних систем, систем геопозиціонування та навігації, а також літальних апаратів та наземного транспорту є антенні системи. Від ефективної роботи випромінювачів електромагнітної енергії залежить як надійність каналу зв'язку, так і їх продуктивність, тобто швидкість передавання інформації та дальність зв'язку. Водночас антенні системи повинні задовільняти конкретним параметрам, таким як: вхідний імпеданс, смуга робочих частот, коефіцієнт підсилення. Вирішенню зазначених проблем присвячена дисертаційна робота Ліске О.М. У ній, зокрема, наголошується, що широке використання щілинних випромінювачів обумовлено їх перевагами: невеликі розміри, можливість забезпечення електричного сканування діаграми спрямованості, робота як з лінійною, так і з коловою поляризацією, можливість конструювання антенних решіток з випромінювачів, що живляться полем біжучих хвиль у щілинній лінії передачі. Окрім того, такі випромінювачі мають неvistупаючу форму та не погіршують аеродинамічні характеристики, тому їх доцільно використовувати на корпусах транспортних засобів, в обшивці літаків та безпілотних літальних апаратів.

Мета дисертаційної роботи Ліске О.М. полягає у розробленні методів підвищення ефективності випромінюючих компонентів на основі щілинних ліній передачі для використання в інфокомунікаційних системах.

II. Коротка характеристика змісту роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і шести додатків. Загальний обсяг роботи 208 сторінок, з них 123 сторінки – основного тексту. Дисертація містить 119 рисунків і 8 таблиць. Список використаних джерел нараховує 112 найменувань.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми роботи; сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет і методи досліджень; висвітлюється наукова новизна та практичне значення отриманих результатів; зв'язок роботи з науковими програмами та темами; відзначений особистий внесок автора; наведені дані про апробацію, публікації та структуру роботи.

У *першому* розділі наведено результати аналізу літературних джерел, в яких розглядаються науково-технічні ідеї та розроблені на їхній основі методи моделювання щілинних випромінювачів. Виявлено фактори, що впливають на випромінювання електромагнітного поля щілинними випромінювачами у ближній та дальній зонах.

Показано, що найбільш важливим завданням є розроблення моделі випромінювання щілинного випромінювача, яка б враховувала вплив розмірів екрану, що містить випромінювач, на її електродинамічні характеристики.

За результатами аналізу літературних джерел дисертант доводить необхідність розроблення та дослідження випромінюючих компонентів на основі щілинних ліній передачі. Тому постає задача щодо вдосконалення щілинних випромінювачів для забезпечення підвищення їх ефективності, яке включає в себе підвищення коефіцієнту підсилення, підвищення широкосмуговості та зменшення масогабаритних характеристик антенних решіток з декількох щілинних випромінювачів. При цьому необхідно зосередитись на розробленні способу підвищення завадостійкості, яке можливе за рахунок зниження рівня бокових пелюстків.

На основі аналізу літературних джерел за тематикою роботи сформульовано завдання дисертаційних досліджень. Проаналізовано характер та умови формування електромагнітного поля щілинами, прорізними в металевому екрані з прилеглим шаром діелектрика.

Увага також приділяється впливу розмірів екрану щілинного випромінювача на його електродинамічні характеристики. Наведено наближені аналітичні залежності для розрахунку параметрів та характеристик щілинних випромінювачів, таких як: складові магнітного струму, дисперсійні характеристики, просторовий розподіл складових електромагнітного поля. Дисертант також наголошує на доцільності використання в якості фідера для живлення щілинних випромінювачів компланарних ліній передачі.

За результатами аналізу літературних джерел дисертант робить висновок про необхідність розроблення та дослідження випромінюючих компонентів на основі щілинних ліній передачі. Одним із напрямів підвищення ефективності, який включає в себе підвищення коефіцієнту підсилення, підвищення широкосмуговості та зменшення масогабаритних характеристик антенної

решітки, вказується використання явища випромінювання біжучих у щілинній лінії передачі електромагнітних хвиль.

У *другому* розділі на основі розроблених комп'ютерних моделей досліджено особливості випромінювання щілинними випромінювачами електромагнітної енергії на прикладі щілинного випромінювача ромбічної форми. Досліджено вплив форми та розмірів випромінювача на випромінюючі характеристики.

В цьому розділі також наводяться результати порівняльного аналізу засобів 3D моделювання електромагнітних структур, з якого дисертант робить висновок про доцільність розроблення математичної моделі для дослідження впливу розмірів екрану, у якому прорізана щілина, на властивості щілинного випромінювача. Така модель повинна бути здатною проводити швидкий розрахунок електродинамічних характеристик щілинних випромінювачів та антенних решіток декількох випромінювачів.

Третій розділ присвячено чисельному дослідженню процесу випромінювання електромагнітних хвиль щілинним ромбічним випромінювачем у екрані скінчених розмірів. Запропоновано удосконалену модель, яка базується на представленні металеві поверхні з прорізаною криволінійною щілиною у вигляді антени біжучої хвилі вібраторного типу із заданим розподілом напруг і застосуванні методу наведених ЕРС для знаходження взаємних опорів диполів. У результаті розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь знайдено невідомі струми живлення диполів, що дало змогу отримати розподіл поверхневих струмів щілинного ромбічного випромінювача.

У *четвертому* розділі розроблено та виготовлено конструкцію щілинного ромбічного випромінювача. Наведено схему експериментального стенду і умови проведення експерименту. Запропоновано методику експериментальних досліджень параметрів щілинної лінії передачі. Методика полягає у вимірюванні залежності КСХ на вході коаксіально-мікросмужкового переходу з підключеною втратною короткозамкненою щілинною лінією передачі при зміні її довжини. Виміряно коефіцієнт стоячої хвилі щілинного ромбічного випромінювача в смузі частот та досліджено розподіл поля щілинного випромінювача. Особлива увага приділяється питанням планування експерименту, оцінці похибок вимірювання та математичній обробці отриманих результатів. Виконано порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами числового моделювання. Отримані результати підтвердили можливість роботи щілинних ромбічних випромінювачів у більшій смузі частот в порівнянні з щілинними петлевими випромінювачами.

У *загальних висновках* наводиться перелік основних наукових і практичних результатів, одержаних у дисертаційній роботі.

III. Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- вперше розроблено математичну модель процесу збудження електричних струмів у металевому екрані скінчених розмірів біжучою хвилею щілинної лінії передачі, у якій, на відміну від відомих моделей, екран заміщено решіткою ортогональних диполів, що дало змогу застосувати для побудови математичної моделі метод наведених ЕРС для знаходження взаємних опорів таких диполів і дослідити вплив геометричних розмірів екрану на електродинамічні властивості

щілинних випромінювачів у заданій смузі частот та збільшити потенційні можливості методу для розроблення щілинних антен з покращеними електродинамічними та функціональними властивостями;

- набув подальшого розвитку метод визначення параметрів щілинної лінії передачі, який, на відміну від відомих, дозволяє отримати більш точні значення коефіцієнту сповільнення та коефіцієнту загасання хвилі у щілинній лінії передачі, що дає змогу підвищити ефективність щілинного випромінювача складної геометричної конфігурації та антенних решіток, що складаються з кількох щілинних випромінювачів;

- вперше розроблено новий підхід до пошуку оптимальних конструктивних рішень щілинних ромбічних випромінювачів, який, на відміну від відомих, передбачає використання спеціалізованої математичної моделі, яка описує взаємозв'язок геометричних розмірів щілини та довжини хвилі у щілинній лінії передавання $\lambda_{щ}$, що дало змогу, шляхом застосування схемотехнічного моделювання, встановити ефективні геометричні розміри щілинного ромбічного випромінювача для отримання поперечного випромінювання, зокрема виявлено, що периметр ромбу повинен становити $2\lambda_{щ}$.

IV. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що

- розроблено та реалізовано за допомогою фізичної моделі спосіб визначення параметрів щілинної лінії передачі, який дає змогу більш ефективно використовувати розроблені методи для моделювання щілинних випромінювачів довільної геометричної форми у екрані скінчених розмірів;

- запропоновану автором методику використано для створення щілинних випромінювачів із підвищеною ефективністю використання поверхні за рахунок використання явища випромінювання біжучих у щілинних лініях передачі хвиль;

- розроблено принципово нову конструкцію щілинної антени, в якій щілинний випромінювач виконано у вигляді ромбу, що забезпечило збільшення смуги робочих частот, покращення узгодження антени в смузі робочих частот, зменшення рівня бокового випромінювання та підвищення коефіцієнту підсилення;

- удосконалено конструкцію щілинного випромінювача шляхом використання нахилоного рефлектора, що дало змогу отримати смугу робочих частот 29% за рівнем КСХ $<$ 2;

- вперше запропоновано і реалізовано антенну решітку з чотирьох щілинних ромбічних випромінювачів. Розроблено компланарну схему живлення, яка дала змогу забезпечити синфазне живлення усіх елементів антенної решітки в широкій смузі частот. Діапазон робочих частот становить 2,32..2,75 ГГц, а коефіцієнт підсилення становить 12,2 дБ. При цьому компланарне з'єднання полегшує інтеграцію щілинного випромінювача з твердотільними активними пристроями;

- створений автором програмний засіб спрощує проведення розрахунків розробленими методами;

- практичну цінність отриманих результатів підтверджують акти впровадження, отримані у Фізико-механічному інституті ім. Карпенка НАН України (м. Львів) та Національному університеті "Львівська політехніка".

V. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів.

Достовірність отриманих результатів та висновків підтверджується коректністю проведених аналітичних досліджень, обґрунтованою постановкою задач чисельного моделювання, використанням надійної вимірювальної техніки для експериментальних досліджень і коректних методів планування та математичної обробки експериментальних даних. Достовірність результатів підтверджується також задовільним узгодженням розрахункових результатів з даними експерименту.

VI. Повнота викладення наукових положень та висновків. Основні положення роботи та висновки викладені в 30 друкованих наукових працях. З них 7 статей (5 статей у наукових фахових виданнях України, зокрема 3 статті у наукових періодичних виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus), праць у збірниках матеріалів і тез доповідей конференцій - 21 (з них 9 входять до наукометричної бази Scopus). Отримано 1 патент на винахід та 1 патент на корисну модель.

Автореферат дисертації Ліске О.М. достатньо повно відображає зміст і суть результатів досліджень, викладених в дисертації.

VII. Оформлення дисертації.

Дисертація є закінченою науковою роботою, що виконана у вигляді підготовленого рукопису. Дисертація оформлена згідно вимог до оформлення. Стиль викладення наукового матеріалу забезпечує його чітко та однозначно розуміння.

VIII. Зауваження по роботі.

1. На мою думку, в дисертаційній роботі необхідно було б надати аналіз допустимого діапазону частот, у якому можуть працювати щільні випромінювачі запропонованих форм та розмірів.

2. На мій погляд, в дисертації недостатньо обґрунтовано вибір форми випромінювача.

3. У математичній моделі не врахований вплив екрану. В залежності від матеріалу екрану, він може вносити додаткові втрати електромагнітної енергії та вносити зміни у розподіл хвильового опору щільної лінії.

4. Не обґрунтовано вибір для математичного моделювання методу наведених ЕРС.

5. Рисунок 2.9 (стор. 68-69) перевищує обсяг однієї сторінки, за доцільно було б винести його в додатки.

6. Рівень оформлення роботи відповідає вимогам, проте в тексті роботи зустрічаються технічні помилки.

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист дисертантом, і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Ліске Олексія Миколайовича «Підвищення ефективності випромінюючих компонентів інфокомунікаційних систем на основі щілинних ліній передачі» є завершеною науковою працею, в якій містяться нові наукові результати, важливі для подальшого розвитку засобів телекомунікацій.

В дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання підвищення ефективності метал-діелектричних структур, що збуджуються полем біжучої хвилі у щілинній лінії передачі.

Дисертаційна робота за змістом відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на всеукраїнських та міжнародних конференціях, а також опубліковані у періодичних наукових виданнях.

Автореферат ідентично та з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації. Структура дисертаційної роботи є обгрунтованою. Виклад матеріалу виконано якісно, логічно та доступно.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Ліске Олексія Миколайовича відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567, і паспорту спеціальності, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри засобів захисту інформації
Національного авіаційного університету

В.В. Козловський

Підпис доктора технічних наук Козловського В.В. засвідчую

Вчений секретар
Національного авіаційного університету



Г.Г. Єнчева