

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента
Плюща Олександра Григоровича
на дисертаційну роботу Теплякова Івана Юрійовича
“ Підвищення ефективності ребристо-стержневої випромінювальної
структури з використанням плазмового розряду ”, яку подано на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 –
“Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій ”

Актуальність теми дисертації та досліджень

Дисертаційна робота стосується проблеми підвищення ефективності спрямованого випромінювання компонентів інфокомунікаційних та телекомунікаційних систем, виготовлених на основі імпедансних ребристо-стержневих структур, шляхом розроблення методу використання плазмового розряду замість металевого осердя, а також зміною параметрів поверхневого імпедансу на базі його модуляції металевими радіальними неоднорідностями. На цій основі пропонується методика дослідження випромінювальних властивостей ребристо-стержневої структури, що полягає в розробленні математичної та імітаційної моделей, котрі на відміну від відомих, дозволяють комплексно врахувати вплив середовища плазмового розряду, скінчених розмірів структури та модуляції поверхневого імпедансу на особливості випромінювання, а також у проведенні серії експериментальних досліджень, що дає змогу зробити висновки про підвищення ефективності випромінювання ребристо-стержневої структури.

З огляду літературних джерел за тематикою дисертаційної роботи Теплякова І.Ю. відомо, що випромінювальні засоби, виготовлені на основі газорозрядної плазми, характеризуються вагомими перевагами над звичайними металевими, діелектричними або метал-діелектричними, наприклад, здатністю динамічного варіювання такими параметрами як частота, спрямованість, підсилення, пропускна здатність, причому у разі вимкнення генератора плазми такі засоби стають електрично непомітними для радара, що робить їх перспективними для використання в області радіоелектронної боротьби.

Сьогодні добре відомі наукові та інженерні дослідження, що стосуються практичних аспектів використання плазмового розряду в антенах з незмінним поверхневим імпедансом для забезпечення кращих, на відміну від звичайних металевих, параметрів та характеристик випромінювання. Проте в науковій літературі відсутні роботи, присвячені питанню використання елементом конструкцій плазмового розряду в структурах зі змінним поверхневим імпедансом. Саме тому розробка методики використання плазмового розряду в ребристо-стержневих структурах з метою підвищення її ефективності за параметром спрямованого випромінювання є **актуальним** науково-практичним завданням.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, рекомендацій, висновків, наданих в дисертації, та їхня достовірність

Сформульовані в роботі наукові положення і рекомендації для практичного використання набутих в роботі результатів та отримані висновки є логічно обґрунтованими на основі як теоретичних так і експериментальних досліджень. Достовірність представлених результатів дисертаційної роботи І.Ю. Теплякова підтверджується коректним застосуванням різних методів аналітичного та чисельного моделювання складної електродинамічної системи, якою є ребристо-стержнева структура, а також порівняльним аналізом отриманих результатів з експериментальними даними та актом впровадження результатів дисертаційного дослідження.

З матеріалів дисертаційної роботи вбачається, що дисертант добре володіє навиками необхідними для наукових досліджень, зокрема, математичного та імітаційного моделювання, добре їх поєднує для розв'язку поставленого в дисертаційній роботі завдання, а тотожність і відповідність результатів, отриманих під час експерименту, до результатів, отриманих шляхом математичного та імітаційного моделювання, свідчить про їх достовірність.

Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень

У дисертації Теплякова І.Ю. вперше запропоновано:

– метод розрахунку ребристо-стержневої структури, який, на відміну від відомих, на основі використання методу А.Ф. Чапліна, призначеного для задач збудження модульованих імпедансних структур, модуляції поверхневого імпедансу металевими радіальними неоднорідностями, та завдяки заміні металевого стержня плазмовим розрядом, дає змогу підвищити ефективність спрямованого випромінювання в площині вектора напруженості електричного поля;

– імітаційну модель ребристо-стержневої структури, яка, на відміну від відомих, використовує газорозрядну плазму з методикою розрахунку її параметрів за теорією Друде, що дало змогу дослідити випромінювальні властивості ребристо-стержневої структури в умовах наявності та відсутності плазми.

Також удосконалено математичну модель ребристо-стержневої структури зі скінченними, на відміну від відомих, розмірами, що дало змогу оцінити характеристики випромінювання та дослідити вплив на них ширини та періоду металевих радіальних неоднорідностей, а також відбитої від кінця структури поверхневої електромагнітної хвилі у заданій смузі частот.

Практична значимість дисертаційної роботи і її важливість для науки

У роботі вдосконалено конструкцію ребристо-стержневої структури шляхом заміни металевого осердя діелектричною трубкою, заповненою газорозрядною плазмою, що дало змогу отримати поперечне випромінювання в площині вектора напруженості електричного поля та підвищити коефіцієнт спрямованої дії на 3,59 дБ, як основного параметра ефективності ребристо-стержневої структури. На основі методу наведених електрорушійних сил удосконалено алгоритм

розв'язання задачі аналізу ребристо-стержневої структури, який на відміну від існуючих, дає змогу врахувати вплив коефіцієнтів поширення, відбиття та загасання біжучої хвилі на особливості формування розподілу напруженості електричного поля. Розроблено програмний комплекс для автоматизованого отримання розподілу напруженості електричного поля у вигляді нормованої за амплітудою діаграми спрямованості в дальній зоні на базі відкритої інтерпретованої мови програмування "Python". Це дало можливість розробити імітаційну модель ребристо-стержневої структури методом скінченних елементів, в результаті використання котрої отримано смугу робочих частот 12% за рівнем коефіцієнта стоячої хвилі < 2 в частотному діапазоні 2..3 ГГц.

В результаті досліджень створено експериментальний зразок ребристо-стержневої структури довжиною $4\lambda_0$ з використанням газорозрядної лампи, на основі якого підтверджено, що отримане значення амплітуди вектора напруженості електричного поля на 50% більше в напрямку, поперечному відносно головної осі досліджуваної структури, у порівнянні з результатом, отриманим в умовах відсутності плазми в цій структурі.

Оцінка змісту дисертації та суті досліджень

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків, серед яких є акт про впровадження результатів.

У **вступі** подано актуальність теми дисертаційних досліджень, мету, завдання та методи дослідження, наукову новизну та практичну значимість, апробацію основних результатів, дані про публікації та особистий внесок дисертанта.

У **першому** розділі на основі огляду джерел за темою дисертації розглянуто сучасний стан та майбутні перспективи розвитку засобів інфокомунікаційних та телекомунікаційних систем, які основані на використанні фізичних властивостей поверхневих плазмонів, поверхневих електромагнітних хвиль та плазми. За результатами аналізу літературних джерел дисертант доводить потребу покращення ефективності випромінювання ребристо-стержневої структури на основі використання плазмового розряду, що є актуальною для широкого кола прикладних задач, наприклад, в системах передавання та приймання електромагнітних сигналів, в області інтерферометрії тощо.

Проаналізовано теорію Друде для потреби розробки імітаційної моделі ребристо-стержневої структури, що здатна врахувати вплив наявності плазмового розряду в своїй конструкції на електродинамічні параметри у досліджуваній смузі частот.

У **другому** розділі розвинуто два методи розв'язку завдань, поставлених у дисертаційній роботі:

– моделювання розподілу вектора напруженості електричного поля на основі математичної моделі модульованої метал-діелектричної структури, отриманої в результаті методики розв'язання неоднорідного інтегрального

рівняння Фредгольма другого роду, розробленої А. Ф. Чапліним, для задач збудження нескінченних модульованих імпедансних структур;

– використання наближеного чисельного методу наведених електрорушійних сил для розроблення моделі ребристо-стержневої структури скінченних розмірів, що дає змогу врахувати вплив відбитої від кінця структури поверхневої електромагнітної хвилі на особливості випромінювання.

Розвинуті методи дали змогу підібрати оптимальні параметри конструкції ребристо-стержневої структури, які визначають поверхневий імпеданс, а саме: амплітуду, ширину та період металевих радіальних неоднорідностей для забезпечення поперечного випромінювання відносно головної осі структури, що характеризується перспективами з точки зору прикладного застосування ребристо-стержневих структур. Для автоматизації розв'язку задачі аналізу ребристо-стержневої структури автором розроблено програмний засіб на базі відкритої інтерпретованої мови програмування високого рівня “*Python*”.

У **третьому** розділі розроблено імітаційну модель ребристо-стержневої структури на базі методу скінчених елементів, новизною якої є врахування газорозрядної плазми, як компонента структури, придатного вносити вплив на особливості випромінювання. Використовуючи цю модель автором отримано такі результати: 1) розраховано частотні залежності зворотних втрат та коефіцієнта стоячої хвилі в частотному діапазоні 2..3 ГГц, що дало змогу виявити смугу робочих частот та резонансні частоти в цьому частотному діапазоні; 2) проаналізовано особливості роботи ребристо-стержневої структури, що пов'язані з впливом присутності та відсутності в імітаційній моделі матеріалу з параметрами газорозрядної плазми на її випромінювання в смузі робочих частот; 3) досліджено сканування просторового розподілу електромагнітного поля в дальній зоні при варіюванні параметрами конструкції ребристо-стержневої структури.

У **четвертому** розділі проведено експериментальну верифікацію результатів чисельного моделювання та надано оцінку підвищення ефективності випромінювання ребристо-стержневої структури на основі методу порівняння коефіцієнту спрямованої дії ребристо-стержневих структур, виготовлених на базі металевого стержня та плазмового розряду.

Для поставленого завдання Тепляков І.Ю. розробив ідентичні за конструктивними параметрами фізичні зразки ребристо-стержневої структури, відмінність яких полягає в тому, що перший зразок виготовлений на основі металевого стержня, а в іншому використано газорозрядну лампу. Експериментальні дослідження проведено в екранованій камері науково-дослідної лабораторії Національного університету «Львівська політехніка», яка зсередини покрита радіопоглинаючим матеріалом, що дало можливість отримати більш точні результати натурного експерименту.

Адекватність запропонованих у попередніх розділах моделей підтверджено методом порівняльного аналізу результатів чисельного моделювання з експериментально отриманим результатом, а також обчисленням середнього квадратичного відхилення.

Експериментально доведено, що використання плазмового розряду у комбінації з модуляцією поверхневого імпедансу підвищує спрямоване випромінювання в поперечному напрямку відносно головної осі ребристо-стержневої структури при визначених в роботі конструктивних параметрах.

В результаті проведених досліджень дисертантом надано рекомендації щодо практичного використання ребристо-стержневої структури з плазмовим розрядом для потреби розроблення антенних систем та інтерферометрів.

У **додатках** дисертантом надано акт впровадження результатів дисертаційної роботи, перелік опублікованих наукових праць за темою дисертації, програму для автоматизації рішення задачі аналізу ребристо-стержневої структури на основі методу наведених електрорушійних сил, схему конструкції та геометричні параметри ребристо-стержневої структури, що використовувалася під час чисельних та експериментальних досліджень.

Відповідність автореферату основним викладенням дисертації

Автореферат у достатньому обсязі відображає основні наукові положення роботи, зокрема, результати моделювання та експериментальних досліджень; наукова новизна, практична значимість та висновки в авторефераті та дисертаційній роботі повністю ідентичні.

Основні зауваження по роботі

1. Не обгрунтовано переваги іонізованого газу перед твердотільною та іншими типами плазми, чому саме іонізований газ обраний для дослідження в цій роботі.

2. З огляду на дисертаційну роботу не зрозуміло, чому саме автор обрав для дослідження конструкцію ребристо-стержневої структури, відносна довжина котрої становить $4\lambda_0$, зокрема, налічує 4 металевих радіальних неоднорідності та 14 металевих кілець.

3. Не зрозуміло, яким саме чином розраховано взаємні опори між ортогональними диполями в розробленій моделі ребристо-стержневої структури на основі методу наведених електрорушійних сил.

4. Не обгрунтовано вибір параметра “ *Maximum Delta S = 0,02* ”, що забезпечує точність розрахунку імітаційної моделі.

5. Доцільно було б порівняти частотні залежності зворотних втрат та коефіцієнта стоячої хвилі в частотному діапазоні 2..3 ГГц, отриманих на основі імітаційних моделей ребристо-стержневих структур, виконаних з металу та газорозрядної плазми.

6. В тексті дисертаційної роботи автор вживає вираз “ *технологія HFSS* ”, а в назві третього розділу використано “ *середовище HFSS* ”. На мій погляд вартувало б дотримуватися однакових термінів та виразів.

7. Доцільно було б експериментально виміряти розподіли вектора напруженості електричного поля в кросполяризованій площині при кутах спостереження $\varphi = 0..360^\circ$, оскільки ширина діаграми спрямованості ребристо-стержневої структури в кросполяризованій площині становить 360° .

8. В роботі зустрічаються граматичні та стилістичні помилки.

Однак, перелічені зауваження не знижують позитивних вражень від дисертаційної роботи Теплякова І.Ю. “Підвищення ефективності ребристо-стержневої випромінювальної структури з використанням плазмового розряду”.

Висновки про відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам

1. Дисертаційна робота Теплякова І.Ю. є завершеною науковою працею, в якій вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення ефективності випромінювання ребристо-стержневої структури шляхом розроблення нового методу синтезу з використанням плазмового розряду та зміни параметрів модуляції поверхневого імпедансу з використанням металевих радіальних неоднорідностей.

2. Автореферат дисертаційної роботи Теплякова І.Ю. в повній мірі розкриває зміст пояснювальної записки. Результати дисертаційних досліджень на достатньому рівні опубліковані та апробовані. За актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю, а також обґрунтованістю наукових положень, рівнем та обсягом робота повністю відповідає вимогам МОН України до дисертацій, представлених на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

3. Вважаю, що автор дисертації на тему “Підвищення ефективності ребристо-стержневої випромінювальної структури з використанням плазмового розряду” заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри мобільних
та відеоінформаційних технологій
Державного університету телекомунікацій



О.Г. Плющ

Підпис кандидата технічних наук, доцента Плюща О. Г.

ЗАСВІДЧУЮ

Вчений секретар
Державного університету телекомунікацій



О.В. Попов