

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Кунах Наталії Ігорівни

на дисертаційну роботу Щербини Ольги Алімівни

«Методологія побудови антенних систем радіомоніторингу з фільтрацією та придушенням завад», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Актуальність теми дисертації

До проблем електромагнітної сумісності радіоелектронних систем відносяться такі складові як раціональне розподілення частотного ресурсу для радіослужб, підвищення пропускну здатності систем радіозв'язку в умовах обмеження доступного для використання діапазону частот, зменшення частотного рознесення радіоліній систем однакового функціонального призначення тощо.

В сучасних системах радіомоніторингу використовують монофункціональні антени (контрольні антени, антени виявлення, вимірювальні антени) і для забезпечення виконання всіх задач радіоконтролю необхідно використовувати декілька антен. Це створює проблеми при розміщенні антен, особливо для мобільних терміналів, і звужує функціональні можливості самої системи. Перспективним напрямком удосконалення антенних систем радіомоніторингу є використання антенних систем, які були здатні компенсувати апаратними методами вплив завадових сигналів. Антенна система повинна автоматично визначати кутові координати джерел випромінювання корисного сигналу і завад, а також мати можливість зміщувати апертуру антени в необхідне просторове положення.

Розробники антенних систем на основі адаптивних методів основну увагу приділяють розвитку та реалізації процесів адаптації і обмежуються лише

вирішенням проблем електромагнітної сумісності. Але поза увагою залишилися функції пеленгації, ідентифікації випромінювань, вимірювань параметрів поля, випромінювання та точності одержаних результатів.

Виходячи з цього, вважаю, що дисертаційна робота Щербини О.А. є актуальною, оскільки присвячена питанням підвищення ефективності процесу вимірювання та контролю параметрів електромагнітного поля за рахунок використання методів фільтрації і придушення завади.

Основні результати дисертаційної роботи отримані при виконанні науково-дослідних робіт, що проводилися в Національному авіаційному університеті.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Дисертаційна робота містить компетентно визначені наукові задачі, спрямовані на розв'язання науково-практичної проблеми підвищення ефективності процесу вимірювання та контролю параметрів електромагнітного поля шляхом розроблення методології побудови антенних систем станцій радіочастотного моніторингу з розширеними функціональними можливостями.

Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та відповідають вимогам МОН України.

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків і додатків, загальним обсягом 358 сторінок.

У *вступі* виконано обґрунтування вибору теми дослідження, викладено зв'язок з науковими темами, сформульовано мету та завдання дослідження, показано наукову новизну та практичне значення, а також визначено особистий внесок автора дисертації в одержаних наукових результатах.

У першому розділі було проведено дослідження антен, антенних систем та принципів побудови антенних систем, які використовуються, або можуть бути використані у системах радіомоніторингу для вимірювання і контролю за параметрами випромінювання. Було виділено можливі напрямки вирішення проблеми завадозахищеності радіоелектронних пристроїв за допомогою антенних систем з первинною обробкою сигналів. Аналіз наукової літератури, який було проведено у розділі, дозволив сформулювати мету та основні задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі розглядаються особливості формування методологічного базису щодо побудови багатofункціональних моніторингових малоелементних антенних решіток.

Автор детально розкриває складові запропонованої методології, яка базується на шести основних методах: метод побудови лінійної антенної решітки, метод побудови антенної системи з просторовою фільтрацією сигналу, метод побудови антенної системи з компенсацією напруги завади, метод побудови адаптивних антенних систем, метод вимірювання кутового положення джерела випромінювання, метод розрізнення сигналу і завади за рахунок їх некогерентності. Методи було удосконалено або розроблено автором дисертаційної роботи.

В основі процесу формування конфігурації антенного блоку системи лежить перший метод – метод побудови лінійної антенної решітки, яка в залежності від задач та конструктивних можливостей може складатись з різної кількості елементів. В процесі реалізації задачі селекції досліджуваного сигналу запропонована методологія передбачає використання останніх п'яти методів з переліку. Методи є працездатними як поодиночі, так і в різних комбінаціях один з одним, в залежності від поставлених перед антенною системою задач і можливостей реалізації. На етапі вимірювання параметрів сигналу використовуються математичні методи розрахунку основних параметрів досліджуваного сигналу.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи було проведено синтез п'яти структурних схем антенних систем, в основу якого покладено розроблену методологію побудови малоелементних антенних систем з фільтрацією та придушенням завади. У якості елементів антенного блоку було використано лінійні вібраторні елементи.

Була синтезована та аналітично досліджена п'ятиелементна антенна система, яка складається з активних несиметричних вібраторів, що розташовані на перпендикулярних осях. Подібне розташування антенних елементів дає можливість не змінювати положення антенного блоку відносно вибраної системи координат.

Розроблена в даному розділі чотирьохелементна антенна решітка радіомоніторингу з розширеними можливостями в якості антенного блоку використовує плоску антенну решітку, яка потребує зміни орієнтації у просторі для настроювання на напрямок приходу досліджуваної хвилі. При використанні механічного сканування форма діаграми спрямованості залишається незмінною і це забезпечує більшу ніж при електронному скануванні точність наведення на джерело випромінювання.

У *четвертому розділі* дисертаційної роботи розглядаються принципи побудови антенних систем радіомоніторингу з кільцевими елементами антенної решітки, які дають можливість розкладання прийнятих електромагнітних хвиль з будь-якою поляризацією на складові в коловому ортогональному поляризаційному базисі і створювати багатофункціональні системи моніторингу при відносно невеликих габаритах апертур.

В даному розділі було розроблено принцип побудови чотирьохелементної антенної системи, антенна панель якої складається з кільцевих елементів. Такі антенні решітки з розмірністю 2×2 на кільцевих випромінювачах можуть забезпечувати функції пеленгації джерела випромінювання, придушення завади, яка має поле випромінювання на тієї ж довжині хвилі, що і поле сигналу, за яким ведеться спостереження, вимірювання основних параметрів поля випромінювання і поляризаційних параметрів.

У *п'ятому розділі* була проведена розробка аналітичних співвідношень, які розкривають вплив різних структурних елементів розроблених в даній роботі антенних систем радіомоніторингу на точність вимірювання параметрів полів випромінювання. Це дозволить за рахунок вибору певних конструктивних елементів приводити похибки вимірювань до необхідних рівнів.

Для дослідження метрологічних характеристик антенних систем радіомоніторингу була побудована математична модель антенної системи з обмеженою кількістю змінних інформативних напруг для забезпечення прозорих функціональних зв'язків, спрощення визначення інструментальних похибок і аналітичних виразів оцінки впливу конструктивних елементів на точність вимірювальних процесів.

Було побудовано залежності індикаторних напруг, які використовуються для орієнтації антенної решітки в азимутальній і меридіональних площинах, від відхилення антени від початкового стану. Для знаходження пеленгів джерел апертуру антени необхідно обертати в азимутальній і меридіональній площинах до досягнення нульового значення індикаторних напруг.

У даному розділі були знайдені математичні вирази основних похибок визначення параметрів електромагнітного поля в залежності від похибок, які можуть вносити конструктивні елементи структурної схеми вимірювальної антенної системи.

У *шостому розділі* представлено розроблені принципи побудови конструкцій трьох типів антен (кільцевої, логоперіодичної та квадрифілярної спіральної антени), які можуть бути використані як елементи антенної решітки для системи радіомоніторингу.

Логоперіодична друкована антена може бути використана в антенній решітці як антена лінійної поляризації, що дозволить суттєво розширити робочий діапазон частот. Моделювання і подальше експериментальне дослідження даного типу антен було виконане з використанням трьох матеріалів підкладки для діапазону частот 2-6 ГГц.

Для антенних решіток з обертовою поляризацією можна використовувати квадрифілярні спіральні антени. Це дещо змінить схему обробки сигналів, але підвищить точність визначення поляризаційних параметрів хвилі. Для побудови алгоритму моделювання автор провів дослідження зразків квадрифілярних спіральних антен з дротовою та мікросмужковою конструкцією плечей та з різними типами ліній живлення.

Висновки відображають зміст проведених досліджень та отриманих результатів.

У *Додатках* наведені принцип визначення похибки вимірювання параметрів хвилі при використанні методу стандартного поля, порівняльна характеристика параметрів симетричного прямолінійного вібратора і симетричного вібратора зі спіральними плечима, моделювання кільцевої мікросмужкової антени з лінійною поляризацією поля випромінювання, акти впровадження результатів дисертаційної роботи та патенти.

Достовірність і новизна отриманих результатів, наукових положень, висновків та рекомендацій

Висновки та результати дисертаційної роботи викладені змістовно, в логічній послідовності, у відповідності зі структурою задач, сформульованих у роботі. Достовірність отриманих результатів, наукових положень підтверджена результатами моделювання та математичними викладками.

Наукова новизна дисертаційної роботи Щербини О.А. полягає в тому, що було вперше розроблено методологію побудови багатофункціональних малоелементних антенних решіток радіомоніторингу та радіоконтролю, а також вперше розроблені: метод побудови антенної системи радіомоніторингу з активними лінійними елементами антенного блоку; метод побудови малоелементної антенної решітки радіомоніторингу з пристроєм первинної обробки сигналів; метод побудови антенних систем радіомоніторингу з кільцевими елементами антенних решіток; метод розрахунку характеристик

точності вимірювання параметрів електромагнітного поля системою радіомоніторингу, антена решітка якої складається з лінійних елементів. Удосконаленню підлягали методи побудови структурних схем малоелементних антенних систем радіомоніторингу з придушенням впливу завад, а також методи розрахунку конструкції друкованої логоперіодичної антени як елементу антенної решітки систем радіомоніторингу, розрахунку конструкції резонансної квадрифілярної спіральної антени з різними типами живлення як елементу антенної решітки систем радіомоніторингу.

Практичне значення отриманих результатів

Запропонована методологія побудови антенних систем радіомоніторингу є основою для проведення подальших наукових досліджень у проектних та науково-дослідних організаціях під час вдосконалення структур та методів побудови антенних систем радіомоніторингу з розширеними функціональними можливостями.

На базі методів, розроблених у дисертаційній роботі, були синтезовані структурні схеми антенних систем, які можуть бути використані як інженерами-проектувальниками, так і студентами, які навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Результати досліджень упроваджені в Державному підприємстві «Український державний центр радіочастот», в Державному підприємстві «Антонів», в дочірньому підприємстві «Захист та автоматизація об'єктів НДІРВ», в навчальному процесі Національного авіаційного університету, в навчальному процесі Відокремленого структурного підрозділу «Фаховий коледж інженерії та управління Національного авіаційного університету», що підтверджено відповідними актами впровадження.

Повнота викладу основних результатів та висновків в опублікованих працях

Основний зміст дисертації опубліковано в 38 друкованих роботах: з них 15 у фахових періодичних наукових виданнях, 6 у фахових закордонних періодичних виданнях (5 з яких індексуються науково-метричними базами Scopus та Web of Science), 3 патенти на корисну модель, 4 патенти на винахід, 9 матеріалів міжнародних наукових конференцій (8 з яких індексуються науково-метричною базою Scopus).

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації

Зміст автореферату узгоджений з основними положеннями та результатами досліджень дисертаційної роботи, повністю відповідає змісту дисертаційної роботи та відображає основні положення, що виносяться на захист. Викладений матеріал написаний науково обґрунтовано, логічно послідовно та технічно грамотно, що надає можливість кращого його сприйняття.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності

Дисертаційна робота Щербини О.А. за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 – Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Зауваження до роботи

Поряд з позитивними сторонами дисертаційного дослідження варто відзначити і ряд недоліків, серед яких:

1. У п. 1.2 дисертаційної роботи під час аналізу методів придушення впливу завад антенними системами не було приведено порівняння амплітудних і фазових методів компенсації.

2. У п. 1.3 було б доцільно більш детально розкрити зміст літературних джерел за наведеними посиланнями.

3. У п. 2.6 бракує матеріалу ілюстративного характеру для більшої наочності структури методології.

4. В другому розділі рис. 2.5-2.7 (стор. 85, 89, 92) необхідно було б поставити поряд для більш повного розуміння відмінності побудови антенних систем з використанням різних методів в методології.

5. На рис. 3.2-3.4 (стор. 112, 114, 115) представлені залежності коефіцієнтів передачі чотиріполюсників від азимутального кута, але не вказані допустимі межі зміни.

6. У Розділі 4 послідовно було досліджено процес вимірювання параметрів електромагнітного поля за допомогою різної кількості кільцевих елементів антенного блоку. При цьому під час аналізу цих антенних систем у деяких випадках використовуються однакові формули, які можна було не повторювати, а зробити на них посилання.

7. Формули (5.1) та (5.2) на стор. 233 дають можливість розрахувати мінімальний кут рознесення джерел сигналу і завади. Але не наведено приклад визначення сектору, в якому заваду неможливо придушити, при конкретно заданих відстаннях між елементами антенної решітки і значеннях керуючої напруги.

8. На рис. 6.4-6.6 (стор. 283-284), на яких представлені графіки залежностей основних характеристик випромінювання кільцевого елемента антенної решітки, не показані межі смуги робочих частот.

Наведені недоліки не змінюють позитивний загальний висновок про достатньо високий науковий рівень дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Щербини Ольги Алімівни за змістом є завершеним дослідженням, що виконана автором самостійно на достатньо високому науковому рівні. У роботі отримані науково обгрунтовані теоретичні та практичні результати, які є суттєвими для розвитку теорії та практики телекомунікаційних та радіотехнічних систем.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності та вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами), а її автор Щербина Ольга Алімівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент,
викладач вищої категорії
Київського коледжу зв'язку, доктор
технічних наук, професор

 Н.І. Кунах

«__» _____ 2021 р.

Підпис офіційного опонента
Кунах Н.І. засвідчую

Директор Київського коледжу зв'язку

С.А. Чечуро

«__» _____ 2021 р.

