

ВІДГУК

офіційного опонента Корнієнко Леоніда Григоровича, д.т.н, професора кафедри фізики та радіоелектроніки Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба на дисертаційну роботу Грецьких Дмитра Вячеславовича «Розвиток теорії систем безпроводної передачі енергії», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.07 – антени та пристрої мікрохвильової техніки

Актуальність обраної теми дисертації

Інтерес до створення систем безпроводної передачі енергії (БПЕ) постійно зростає у зв'язку з інтенсивним розвитком різних технологій безпроводної передачі енергії. До них відносяться безпроводна передача енергії сфокусованим мікрохвильовим променем на значні відстані, безпроводна передача енергії на малі відстані індукційним або резонансним способами, перетворення електромагнітних полів (ЕМП), створюваних різними радіоелектронними засобами в постійний струм за допомогою ректен (антен-випрямлячів), перетворення оптичного випромінювання (видимого та/або інфрачервоного діапазону) в постійний струм за допомогою наноректен.

Стимулюючим фактором у розвитку систем БПЕ, в яких використовуються різні технології передачі енергії, є відсутність цілісної теорії високого рівня адекватності, що дозволяє з єдиних позицій визначити їх можливості і раціональні шляхи побудови. З цієї причини тема докторської дисертації Грецьких Д.В., яка присвячена розвитку загальної теорії систем БПЕ на базі комплексного підходу з використанням методів прикладної електродинаміки та схемотехніки і дозволяє з єдиних позицій проводити аналіз і оптимізацію різних за технологією передачі енергії систем БПЕ з нелінійними властивостями, безсумнівно є актуальною.

У дисертації розглядається досить складна проблема вдосконалення відомих і створення нових математичних моделей систем БПЕ, а також методів аналізу і проектування окремих їх підсистем, що містять в своєму складі антени з нелінійними елементами.

Одна з особливостей вирішуваної проблеми полягає в тому, що наявність нелінійних елементів в складі антен систем БПЕ призводить до появи як корисних, так і шкідливих нелінійних ефектів, параметри яких залежать від потужності збуджуваних сигналів, що істотно ускладнює



властивості таких систем. Ця обставина призводить зокрема до необхідності збільшення числа параметрів і характеристик систем БПЕ, що підлягають визначенню.

Інша особливість розглянутої проблеми породжена тим, що в залежності від технології передачі енергії приймальна антена системи БПЕ може знаходитися в ближній, проміжній і дальній зонах передавальної антени. Тому виникає задача аналізу взаємного впливу антен системи БПЕ, при чому з урахуванням всієї сукупності нелінійних ефектів, що відбуваються в досліджуваних системах.

Таким чином, для вирішення даної проблеми дисертанту необхідно було запропонувати нові підходи, методи аналізу та розробити ефективні алгоритми, сукупність яких представляла б собою реальну базу для проектування систем БПЕ різного функціонального призначення.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Аналіз змісту дисертаційної роботи та проведеної здобувачем апробації отриманих результатів дозволяє стверджувати, що ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі Грецьких Д.В. є висока. Це підтверджується обраними методами дослідження, зокрема методами теорії антен з нелінійними елементами, яка дозволяє, у залежності від вимог до глибини аналізу й точності одержуваних результатів, формувати моделі електродинамічних структур з нелінійними елементами різного рівня складності.

Достовірність результатів роботи та зроблених автором висновків ґрунтується й на порівнянні результатів розрахунку параметрів систем БПЕ за розробленою математичною моделлю з даними фізичних експериментів, проведених іншими авторами. Добрий збіг результатів математичного і фізичного моделювання свідчить про адекватність результатів, одержаних шляхом математичного моделювання, реальним процесам що відбуваються в системах БПЕ.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова значимість роботи полягає в тому, що в ній створені теоретичні основи для всебічних досліджень систем БПЕ з урахуванням всієї сукупності нелінійних ефектів, що виникають у них. Розроблена теорія дозволяє з єдиних позицій виявити закономірності функціонування систем БПЕ, в яких застосовуються різні технології передачі енергії і запропонувати нові підходи

до вирішення таких технічних завдань, як побудова систем БПЕ з розширеними функціональними можливостями.

Основні наукові результати полягають у наступному.

1. Запропоновано новий підхід аналізу та оптимізації систем БПЕ для періодичного або майже-періодичного режимів їх роботи. Перевагами підходу в порівнянні з раніше розробленими є:

- універсальність, тобто можливість проведення аналізу систем БПЕ в яких використовуються різні технології передачі енергії;

- можливість врахування електродинамічного зв'язку системи БПЕ з іншими радіоелектронними засобами;

- гнучкість, тобто можливість зміни конфігурації системи БПЕ в залежності від її призначення та можливість проведення аналізу окремих її підсистем і функціональних складових.

2. Отримані раніше не відомі співвідношення для визначення зовнішніх параметрів систем БПЕ з урахуванням всієї сукупності нелінійних ефектів, що виникають в досліджуваних системах. Отримані співвідношення дозволяють описувати як процеси, що відбуваються всередині системи БПЕ (внутрішньосистемні процеси), так і процеси електродинамічної взаємодії системи БПЕ з радіоелектронними засобами іншого призначення (міжсистемна взаємодія).

3. Вперше узагальнена теорія передавальних антен з нелінійними характеристиками для зони Френеля, яка дозволяє проводити аналіз випромінюючих структур довільної конфігурації з урахуванням виникаючих в них корисних та шкідливих нелінійних ефектів.

4. Запропоновано підхід щодо розширення функціональних можливостей та покращення енергетичних характеристик систем БПЕ за рахунок використання в них передавальних підсистем, побудованих на основі багатопозиційних систем випромінювачів.

5. Отримав подальший розвиток підхід до аналізу великоапертурних ректенних решіток при різних режимах їх збудження (пласкою електромагнітною хвилею, електромагнітним полем з нерівномірним амплітудним розподілом).

Практичне значення отриманих результатів

Практична значимість роботи визначається наступними результатами.

1. Розроблено алгоритми аналізу систем БПЕ та великоапертурних ректенних решіток, які дозволяють ефективно проводити їх моделювання за допомогою пакетів програм, які містять модулі електродинамічного та

схемотехнічного моделювання, що дозволяє істотно скоротити обсяг експериментальних досліджень складних систем БПЕ.

2. Отримані теоретичні результати можна узагальнити і на інші радіоелектронні системи, до складу яких входять багатовходові випромінюючі структури (наприклад, системи МІМО), радіотехнічні системи в яких за певних умов можлива поява шкідливих нелінійних ефектів, які можуть породжуватися як нелійними елементами, функціонально необхідними для роботи антен і трактів їх збудження (наприклад, АФАР), так і паразитними в них нелійностями. Останні можуть бути викликані конструкцією антени (наприклад, які утворюються в місцях з'єднання елементів дзеркальної антени окісними плівками, що мають нелінійні вольтамперні характеристики) або несприятливим режимом роботи активних елементів антени, зокрема активних елементів в АФАР.

3. Розроблено практичні рекомендації для проектування систем БПЕ сфокусованим мікрохвильовим променем, в яких ректена опромінюється ЕМП з нерівномірним амплітудним розподілом.

Практична цінність проведених досліджень підтверджена впровадженням результатів дисертації в науково-дослідні роботи, виконаних в ХНУРЕ та ХНУ імені В.Н. Каразіна та в навчальний процес в ХНУРЕ, про що свідчать відповідні акти впровадження.

Наведені наукові і практичні результати складають основу для дослідження та проектування систем БПЕ різного призначення, радіотехнічних систем нового покоління з одночасною передачею інформації та енергії.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях

Матеріали дисертації достатньо повно викладені здобувачем у 41 науковій праці, серед яких: 1 монографія, 20 статей у спеціалізованих наукових журналах (з них 3 статті у закордонних наукових виданнях – Scopus), 20 тез доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях та семінарах (з них 17 тез доповідей індексується в наукометричній базі Scopus).

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації

Дисертаційна робота складається із вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Загальний об'єм

дисертації – 314 сторінок, в тому числі 98 рисунків, 6 таблиць, 303 джерела, 3 додатки.

Структурні елементи дисертації оформлені згідно з вимогами.

У розділах дисертації повно викладено зміст проведених здобувачем досліджень. У загальних висновках наведені найбільш важливі наукові та практичні результати дисертації, викладені рекомендації щодо їх використання й також вказані деякі подальші напрямки досліджень в галузі БПЕ. Список використаних джерел характеризує високий ступінь вивченості здобувачем проблем побудови систем БПЕ різного класу і призначення та їх ректен, аналізу антен з нелінійними характеристиками. Додатки до роботи містять акти про впровадження.

Дисертація за змістом та отриманими результатами відповідає паспорту спеціальності 05.12.07 – антени та пристрої мікрохвильової техніки.

Дисертацію написано на високому науковому рівні. Наукова термінологія, що застосована в дисертації є загальноприйнятою.

Відповідність змісту автореферату дисертації

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Перший розділ роботи, який присвячений огляду сучасного стану теорії і практичного застосування систем безпроводної передачі енергії, має в основному інформаційний характер, й тому значну частину матеріалу доцільно було перенести в додаток, а більше зосередитися на виявленні з літературних даних оптимальних або раціональних співвідношень між характеристиками ректен та їх складових з параметрами падаючого мікрохвильового поля для визначення умов збільшення коефіцієнта корисної дії.

2. Основу роботи складає розробка універсальної математичної моделі системи БПЕ (розділ 2) на базі принципу декомпозиції. Потрібно було по ходу її створення більше уваги звертати на обмеження до застосування цієї моделі.

3. У дисертації мало наведено даних про вплив параметрів нелінійних елементів на спрямовані та поляризаційні характеристики передавальної підсистеми БПЕ, які помітно впливають на побудову та ефективність ректени і БПЕ в цілому.

4. У розд. 4 запропонований дворівневий алгоритм розв'язання рівнянь стану, отримані умови збіжності ітераційного процесу, але не досліджена стійкість отриманих рішень, що важливо для нелінійних систем.

5. У підрозд. 5.1 проведений лише якісний аналіз отриманих результатів, з якого не зрозуміла ступінь впливу рівня збудження випромінюючої структури з нелінійними властивостями, параметрів нелінійних елементів на процес фокусування електромагнітного випромінювання. Тому в роботі відсутні рекомендації щодо забезпечення ефективного фокусування випромінюючими структурами, в яких можуть проявлятися паразитні нелінійні ефекти.

6. У підрозд. 5.2 запропонована схема побудови багатопозиційної системи випромінювачів як покращеної альтернативи однопозиційній системі. Однак для зваженого підходу до оцінки багатопозиційних систем поряд з перевагами варто було б зосередитися на недоліках таких систем, зокрема на труднощах у забезпеченні когерентного випромінювання та на способах подолання цих труднощів.

При моделюванні системи БПЕ з багатопозиційною передавальною підсистемою не ясно з яких міркувань здобувач задавався параметрами передавальної підсистеми (число випромінюючих позицій, потужність випромінювання окремих позицій їх взаємне розташування). Також не ясно, з яких міркувань вибиралися і геометричні розміри ректени.

7. Результати моделювання системи БПЕ стали б більш вагомими, якби здобувач розробив практичні рекомендації щодо забезпечення зони екологічної безпеки в околиці розташування ректени.

Зазначені зауваження не знижують наукового рівня дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку в цілому.

Висновок

Дисертація Грецьких Д.В. є закінченою науковою роботою, в якій розроблені нові теоретичні положення і технічні рішення, які можна кваліфікувати як важливі досягнення в досліджуваній галузі. В цілому отримані результати вносять істотний внесок в розвиток теорії і практики проектування систем БПЕ різного призначення. Отримані результати відкривають нові можливості для подальших плідних досліджень в цьому науковому напрямку.

Основні результати досліджень повністю викладено в опублікованих працях, кількість яких відповідає вимогам.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Результати досліджень за темою дисертації впроваджені в ряд НДР та навчальний процес ХНУРЕ.

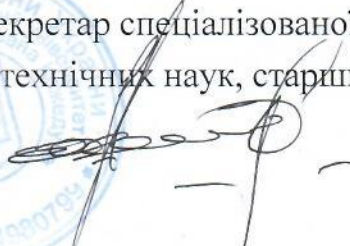
Таким чином, дисертаційна робота «Розвиток теорії систем безпроводної передачі енергії» повністю відповідає вимогам п.10 «Порядку присудження наукових ступенів», які пред'являються до докторських дисертацій, а її автор Грецьких Дмитро Вячеславович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.07 – антени та пристрої мікрохвильової техніки.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри фізики та
радіоелектроніки Харківського
національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба



Л. Г. Корнієнко

Підпис професора Корнієнко Л.Г. засвідчую.
Учений секретар спеціалізованої вченої ради Д 64.702.01
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник



А.А. Адаменко