

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри автоматичної, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Шефера Олександра Віталійовича

на дисертацію Малашти Павла Петровича

на тему: «Принципи та особливості формування фантомних радіолокаційних зображень космічних РСА», подану на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 « Телекомунікації та радіотехніка»

Актуальність теми

Дисертаційна робота Малашти Павла Петровича належить до актуальної області радіотехніки – формування фантомних зображень засобів дистанційного зондування Землі типу радарів з синтезованою апертурою антени космічного базування. Актуальність теми зазначеної роботи визначається наступними аспектами. Обрана тема відповідає пріоритетному тематичному напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок під назвою «Національна безпека і оборона» на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні згідно постанови Кабінету Міністрів України №476 від 30.04.2024. Даний напрямок включає «Інформаційно-комунікаційні та радіоелектронні системи та технології для забезпечення національної безпеки і оборони» і «Технології створення радіотехнічних систем і комплектувальних виробів до них, приладів радіолокації, засобів радіоелектронної боротьби та технічної розвідки», що повністю включає тему дисертаційного дослідження здобувача. До того ж тематика роботи майже не висвітлена в наукових публікаціях вітчизняних науковців, а наявні наукові роботи закордонних авторів свідчать про те, що єдина сучасна концепція радіотехнічних систем фантомізації космічних РСА відсутня. Важливо, що наявні у відкритому доступі наукові роботи майже не розглядають питання

побудови зазначених радіотехнічних систем і необхідної для цього електронної елементної бази.

Отже, дисертація Малашти П.П. підготована в рамках науково-дослідної роботи Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» під назвою «Теорія радіотехнічних систем формування фантомних радіозображень радарам аерокосмічного призначення» (Д501-1/2024-Ф), в якій здобувач є одним з виконавців.

Все вищевказане свідчить про те, що тематика дисертаційної роботи «Принципи та особливості формування фантомних радіолокаційних зображень космічних РСА» здобувача Малашти П.П. є актуальною.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів дисертаційної роботи забезпечуються коректністю постановки наукових задач, використанням сучасних методів математичного та електродинамічного моделювання, сучасних методів цифрової обробки радіолокаційних сигналів і зображень, системного та функціонального аналізу, застосуванням методів статистичної теорії радіотехнічних систем для вирішення оптимізаційних задач статистичного синтезу, а також достатнім обсягом проведених теоретичних і експериментальних досліджень.

Це дозволило отримати науково обґрунтовані результати щодо принципів та особливостей створення радіотехнічних систем фантомізації космічних РСА, які включають сучасну концепцію таких систем, принципи та особливості формування їх сигналів, структуру їх приймального та передавального тракту і особливості їх побудови на сучасній електронній елементній базі, теоретичні основи створення SIW-хвильоводів на основі кристалів $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$ для зазначених радіотехнічних систем, спосіб обробки зображень космічних РСА для

визначення ділянки фантомізації і наповнення бази моделей радару фантомізації.

Наукові положення, висновки та рекомендації логічно впливають із результатів проведених досліджень, підтверджуються результатами моделювання, апробацією основних результатів на чотирьох міжнародних наукових конференціях та під час виконання науково-дослідних робіт на замовлення МОН України.

Наукова новизна

Наукова новизна результатів дисертації Малашти П.П. охоплює комплекс питань, що стосуються моделей сигналів в системі «РСА – радар фантомізації», структури радару фантомізації та електронної елементної бази для побудови такого радару. Так, отримали подальший розвиток математичні моделі сигналів космічного РСА, параметри та структура системи «РСА – радар фантомізації» під час урахуванні умов формування сигналу для фантомізації зображень космічних РСА. Причому, це дозволило сформувати на базі статистичної теорії радіотехнічних систем детальну структуру приймального та передавального трактів радару фантомізації. Було удосконалено спосіб визначення граничних середньоквадратичних похибок оцінок параметрів ЛЧМ-сигналу у приймальному каналі радіотехнічної системи фантомізації при застосуванні обґрунтованого функціоналу правдоподібності для системи «радар фантомізації – космічний РСА». Важливо, що це дозволило оцінити вплив похибок оцінювання параметрів сигналу РСА на роботу радару фантомізації в розрізі його технічної реалізації. Важливим є те, що вперше було обґрунтовано теоретичні основи проектування SIW – хвилеводів на основі напівпровідникових кристалів $A^{II}B^{VI}$ для формування швидкісного фазообертача для побудови передавача радару фантомізації космічних РСА.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Результати наукових досліджень відображено у восьми наукових публікаціях, зокрема: в двох статтях у наукових фахових виданнях України категорії Б; двох статтях у журналах індексованих у наукометричній базі Scopus (квартиль Q3); чотирьох публікаціях апробаційного характеру в матеріалах міжнародних наукових конференцій, які проіндексовано у базі Scopus. Всі наукові праці опубліковано у співавторстві, особистий внесок Малашти П.П. у даних публікаціях зазначений у дисертаційній роботі. Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМ України від 12.01.2022 р. №44.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Практичне значення результатів дисертації Малашти П.П. полягає у створенні підґрунтя для розробки вітчизняної радіотехнічної системи фантомізації космічних РСА. Запропоновані рекомендації та аналітичний апарат дозволяють проектувати малогабаритну елементну базу НВЧ-діапазону на основі SIW-технології та кристалів групи $A^{II}B^{VI}$. Це рішення є критично важливим для створення НВЧ-пристроїв спеціального призначення, оскільки воно забезпечує суттєве зниження масогабаритних показників аерокосмічної бортової апаратури, а також забезпечує можливість створення швидкісних фазообертачів для радарів фантомізації. До того ж, розроблений метод обробки зображень для системи фантомізації космічних РСА може бути успішно інтегрований у перспективні комплекси радіоелектронного захисту від космічної розвідки. Практичну цінність мають і отримані блок-схеми

приймального та передавального трактів. Вони слугують готовою архітектурною основою для безпосередньої розробки та технічного впровадження відповідної радіотехнічної апаратури спеціального призначення. І, нарешті, результати дослідження мають практичну значимість з точки зору впровадження у навчальний процес при підготовці здобувачів освіти всіх рівнів зі спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» (172 «Електронні комунікації та радіотехніка», 172 «Телекомунікації та радіотехніка»).

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація Малашти П. П. характеризується чітко окресленою та логічно побудованою структурою, містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки та додатки. Зміст роботи відповідає поставленій меті та сформульованим задачам дослідження, а структура дисертації забезпечує послідовне та обґрунтоване розкриття основних наукових положень і результатів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведено огляд наукових робіт з області глушіння, оманливого глушіння, а також фантомізації зображень космічних радарів з синтезованою апертурою. Визначено основні проблеми даної області, сформульовано мету та завдання подальших досліджень.

В другому розділі досліджено математичні моделі сигналів в системі «радар фантомізації – космічний РСА», визначено принципи та особливості формування сигналу радару фантомізації, із застосуванням статистичної теорії радіотехнічних систем сформовано структуру приймального та передавального тракту радару фантомізації, встановлено вимоги до фазообертача передавального тракту радара фантомізації.

Третій розділ присвячено обґрунтуванню теоретичних основ формування SIW-хвильоводів на основі кристалів $A^{II}B^{VI}$. Виконано розрахунок їх топології для різних частот ймовірного застосування, здійснено електродинамічне моделювання частотних характеристик параметрів S_{11} і S_{12} SIW – хвильоводу на основі кристала ZnS. Запропоновано принцип побудови швидкісного фазообертача з плавним оптичним керуванням на основі SIW – хвильоводу із використанням кристалів $A^{II}B^{VI}$.

У четвертому розділі описано спосіб обробки радіолокаційних зображень космічних РСА для використання в комплексі радіотехнічної системи фантомізації. Запропонований спосіб дозволяє виявляти границі об'єктів з великою ЕПР на радіолокаційних зображеннях космічного РСА, що необхідно для виявлення ділянок фантомізації, налаштування радару фантомізації та машинного наповнення бази моделей даного радару. Спосіб реалізується встановленою послідовністю операцій обробки зображень з визначеними параметрами, застосовуючи оператори Собеля, Прюїта і Робертса для виділення границь об'єктів на зображеннях. Встановлено, що найменші похибки першого та другого роду досягаються при застосуванні саме оператора Робертса.

Загальні висновки відображають основні результати роботи і підтверджують досягнення поставленої мети дослідження.

Дисертація характеризується достатнім рівнем теоретичного та експериментального опрацювання проблематики, послідовністю викладення матеріалу, коректністю застосування математичного апарату та належним рівнем обґрунтування отриманих результатів. Оформлення роботи відповідає встановленим вимогам до дисертаційних досліджень.

Академічна доброчесність

У дисертаційній роботі та наукових працях Малашти П.П. не виявлено порушень академічної доброчесності. Незважаючи на те, що всі публікації

написані у співавторстві, здобувач спирався на власні ідеї, підходи, розрахунки, ілюстрації та результати особистих досліджень.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

До дисертаційної роботи зроблено наступні зауваження:

1. В першому розділі було розглянути пасивні методи глушіння космічних РСА і зроблено висновок, що «...найбільш перспективним є оманливе глушіння та пасивне глушіння із застосуванням сучасних РПМ...». При цьому у наступних розділах щодо сучасних РПМ нема жодних результатів. Було б доцільно розвинути цей напрямок у розрізі комплексного застосування радарів фантомізації і сучасних РПМ для оманливого глушіння космічних РСА.

2. В роботі отримано просторово-часові параметри взаємодії системи «РСА – радар фантомізації». При цьому розглядалась модель правильної сферичної Землі, а моделлю траєкторії космічного РСА була правильна колова орбіта. При цьому Земля – це геоїд, а штучні супутники Землі, як правило, рухаються по еліптичній орбіті. Отже, доцільно було б розглянути, наскільки суттєво ці відмінності впливають на величину просторово-часових параметрів взаємодії системи «РСА – радар фантомізації».

3. У підрозділі 2.4 наводяться математичні вирази для розрахунку просторової роздільної здатності та визначення областей потенційного формування фантомних радіозображень. При цьому не наводяться розрахунки за даними виразами для оцінки розміру областей фантомізації. Такі оцінки дозволили б наочно продемонструвати можливі межі областей фантомізації.

4. Узагальнена модель зондувального сигналу космічного РСА включає коефіцієнт розсіювання (вираз (2.19)) та коефіцієнт загасання (вирази (2.20) – (2.22)). Доцільно було б навести в дисертації, як ці коефіцієнти враховуються в сигналі радару фантомізації, як вони імітуються передавачем радару фантомізації.

5. У підрозділі 3.3 наведено результати моделювання величини коефіцієнту діелектричних втрат кристалів $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$ для різних частот. При цьому величини даного коефіцієнта, наведені в таблиці 3.2 є досить великими і відповідають даним на рис. 3.4, де наведено частотні характеристики S_{11} та S_{12} для SIW – хвилеводу на кристалі ZnS з великими діелектричними втратами. Отже впливає наступне питання: чи придатні кристали $Al^{\text{I}}B^{\text{VI}}$ для використання у НВЧ-компонентах за рівнем діелектричних втрат в області 1 – 10 ГГц?

6. У четвертому розділі наведено результати експериментальної оцінки алгоритму обробки радіолокаційних зображень. Разом із тим більш інформативними були б результати досліджень на розширеній вибірці РСА-зображень різних типів місцевості та умов спостереження, що дозволило б ще повніше оцінити універсальність запропонованого підходу.

7. В роботі зустрічаються друкарські помилки типу «сквапність пактів зондуючого сигналу» (с. 73), «космічного РСА» (с. 87), «Принцип роботи» (с. 95), «Риунок. 2.22» (с. 108) і т.д.

8. На деяких рисунках зустрічаються англomовні позначення без пояснень, як на рис. 2.14 (ADC, RAM, DSP), рис. 3.5 на стор 146 (Field та V/m).

Наведені зауваження є несуттєвими і не впливають на достовірність отриманих результатів, а також не знижують наукову новизну та практичну значущість дисертаційного дослідження.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота Малашти Павла Петровича на тему «Принципи та особливості формування фантомних радіолокаційних зображень космічних РСА» за своїм змістом відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, характеризується достатнім рівнем наукової новизни, теоретичної обґрунтованості та практичної цінності отриманих результатів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44, а здобувач Малашта Павло Петрович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» у галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри автоматики,
електроніки та телекомунікацій
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», д.т.н., професор

_____ Олександр ШЕФЕР

«_____» _____ 2026 року