

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Ковальова Євгена Олександровича “ Відкриті резонансні системи для генераторів дифракційного випромінювання з розвинутим простором взаємодії ”, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 - радіофізика

1. Актуальність теми дисертації.

Сучасні розробки засобів передачі інформації, систем медичної діагностики, екологічного моніторингу, тощо потребують постійного розвитку та вдосконалення джерел електромагнітного випромінювання в міліметровому (ММ) та терагерцовому (ТГц) діапазонах довжини хвиль. Відкриті резонансні системи (ВРС) складають основу одного з перспективних джерел в цих діапазонах - генератора дифракційного випромінювання (ГДВ), який ще далеко не вичерпав свої потенціальні можливості. Тому на даний час залишаються актуальними задачі підвищення ефективності ГДВ, розширення діапазону перестроювання по частоті, повноцінного опанування ТГц -діапазону. Ці задачі для свого вирішення потребують розробки для генератора дифракційного випромінювання нових типів відкритих резонансних систем, які самі по собі є достатньо складним об'єктом для електродинамічного аналізу та експериментальних досліджень.

Для розробки ефективних ГДВ на кожній ділянці спектру частот від 30 ГГц до 300-500 ГГц висуваються різні вимоги до ВРС. Так, якщо для діапазону частот 30-60 ГГц є нагальна потреба розробки відкритих резонансних систем з мінімальними розмірами гаусової плями поля на періодичній структурі, то для ТГц діапазону необхідні ВРС з подовженим простором взаємодії та супергаусовим розподілом амплітуди резонансного поля. Для розширення смуги перестроювання по частоті в ГДВ з періодичною структурою типу здвоєної гребінки є потреба в розробці широкосмугових відкритих резонансних систем, зразки яких запропоновані та досліджені в даній дисертації. Все викладене вище безперечно дозволяє вважати тему даної дисертації сучасною і актуальною.

2. Обґрунтованість наукових положень і висновків та достовірність отриманих результатів.

Наукові результати в дисертації Є.О. Ковальова отримані за допомогою загальноприйнятих експериментальних методів та з використанням строгої 2-D електродинамічної моделі відкритого резонатора з довільним профілем поверхні дзеркал. Запропоновані автором нові експериментальні методики дослідження розподілу резонансного поля та омічних втрат у складних відкритих резонансних системах були апробовані на класичному напівсферичному відкритому резонаторі. Співставлення результатів електродинамічного моделювання, “холодних” досліджень властивостей ВРС

та “гарячих” досліджень ГДВ забезпечують обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій даної роботи. Результати дисертації пройшли апробацію на міжнародних конференціях та опубліковані у фахових вітчизняних та закордонних виданнях.

3. Наукова новизна результатів дослідження.

Наукова новизна результатів, отриманих Ковальовим Є.О., засвідчується публікаціями в авторитетних фахових журналах та патентом України на винахід і визначена в дисертації в 7-ми пунктах:

- Для здвоєної гребінки розміщеної на плоскому дзеркалі ВРС встановлена оптимальна висота, яка забезпечує розширення смуги перестроювання ГДВ по частоті з високою стабільністю генерованих коливань.

- Для оцінки стартового струму ГДВ розроблено експериментальний метод визначення частки енергії резонансного поля, яка зосереджена в здвоєній гребінці і показано, що вона зростає зі збільшенням висоти здвоєної гребінки.

- Розроблено метод рухомого вузла зв'язку для аналізу структури резонансного поля безпосередньо на поверхні дзеркала ВРС з роздільною здатністю $\sim 0,1$ мм.

- Досліджено особливості формування подовженої плями поля у ВРС з багатофокусним дзеркалом, складеним з 2-4 циліндричних поверхонь, та встановлена суттєва відмінність розподілу такого поля від квазіоптичної суми гаусових полів.

- Запропоновано методику згладжування стику на складеному дзеркалі відкритої резонансної системи для формування супергаусового розподілу в подовженій плямі поля, та виконано моделювання такої ВРС для ГДВ терагерцевого діапазону.

- Вперше запропоновано та досліджено особливості роботи ГДВ на асиметричних модах, що дало можливість розширити смугу перестроювання генератора по частоті в 1,5 рази.

- Вперше запропонована можливість та досліджено особливості роботи ГДВ на міжтипovому коливанні ВРС при створенні умов для зв'язку між парною TEM_{001} -модовою та непарною TEM_{101} -модовою, і продемонстровано ефективну роботу ГДВ на одній із гілок зв'язаних мод в широкій смузі частот.

4. Повнота викладення результатів дослідження в наукових фахових виданнях.

Основні матеріали дисертації повністю опубліковані в 4-х статтях у фахових наукових виданнях, які належать до переліку МОН України, в 1-му іноземному журналі, а також в 1-му патенті України на винахід. Результати досліджень здобувача також були представлені в 4-х доповідях на міжнародних конференціях.

5. Науково-практична значимість та шляхи можливого впровадження результатів досліджень.

Отримані в дисертаційній роботі результати експериментальних досліджень та електродинамічного моделювання дозволяють розширити фізичні уявлення про закономірності формування поля резонансних мод в складних відкритих резонансних системах. Проведене дослідження ВРС з розміщеною на дзеркалі неоднорідністю у вигляді періодичної структури дає можливість розвитку ефективних ГДВ як в ММ так і ТГц діапазонах.

Проведені детальні дослідження властивостей резонансних мод в асиметричних відкритих резонансних системах, а також дослідження особливостей збудження міжтипових коливань у ВРС з керованим зв'язком між модами демонструють перспективність їх використання не тільки в ГДВ, а також в інших пристроях з відкритими резонансними системами.

Розроблений автором метод рухомого вузла зв'язку для аналізу резонансного поля безпосередньо на поверхні дзеркала з високою роздільною здатністю може бути з успіхом використаний іншими дослідниками, а методика оцінки частки енергії резонансного поля безпосередньо в здвоєній гребінці дає можливість оцінити стартовий струм ГДВ на основі “холодних” вимірювань властивостей його ВРС.

Наявні можливості практичного впровадження отриманих в дисертації результатів також продемонстровані автором при виконанні “гарячих” досліджень ГДВ з розробленими ВРС.

6. Структура дисертаційної роботи, оцінка її завершеності в цілому.

Структура дисертації, її обсяг та оформлення відповідають вимогам МОН України до кандидатських дисертацій. Дисертація Ковальова Є.О. складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел із 107 назв та додатку із списком публікацій здобувача. Загальний обсяг дисертації складає 163 сторінки.

У вступі викладено актуальність теми дисертації, визначені мета і задачі дослідження та шляхи їх розв'язання, сформульовані наукова новизна роботи і практичне значення отриманих результатів та зв'язок з науковими програмами, темами.

У першому розділі наведено огляд літератури по сучасному стану розробок компактних джерел когерентного випромінювання в ММ та ТГц діапазонах, та показано яке місце серед них займають генератори дифракційного випромінювання. Розглянуто проблеми, що виникають при розробці нових модифікацій ГДВ в діапазоні 30-200 ГГц та при створенні ефективних ГДВ для ТГц діапазону. Обґрунтована нагальна необхідність розробки нових типів відкритих резонансних систем для ГДВ з розвинутим простором взаємодії.

У розділі 2 розглянуті застосовані методи “холодних” досліджень відкритої резонансної системи та “гарячих” досліджень самого ГДВ і описана

строга 2-D електродинамічна модель ВРС з прямокутною канавкою на поверхні дзеркала. Також представлені результати досліджень впливу параметрів здвоєної гребінки на ширину смуги перестроювання ГДВ по частоті і результати по дослідженню ВРС зі зменшеним розміром плями гаусового поля.

У розділі 3 наведені результати досліджень особливостей формування подовженого поля на періодичній структурі ГДВ з використанням багатофокусного дзеркала, складеного з 2-4 циліндричних поверхонь. Вказано на можливість використання в ГДВ не тільки основної моди з подовженим полем, а і вищих мод, для яких нулі в розподілі електричного поля співпадають зі стиком суміжних циліндричних поверхонь. Для формування супергаусового поля на періодичній структурі ГДВ в ТГц діапазоні досліджено вплив згладжування стику на двофокусному дзеркалі за допомогою випуклої циліндричної поверхні.

У розділі 4 вперше запропоновано і досліджено властивості асиметричної відкритої резонансної системи для ГДВ з періодичною структурою у вигляді здвоєної гребінки. Показано, що асиметричне розміщення здвоєної гребінки в плямі гаусового поля зменшує її вплив на структуру резонансного поля, що сприяє розширенню смуги перестроювання ГДВ по частоті.

У розділі 5 вперше запропоновано і проведені експериментальні дослідження ГДВ з перестроюванням частоти генерації на міжтиповому коливанні його ВРС. Показано, що при створенні умов для взаємодії TEM_{001} -моди з TEM_{101} -модом, яка ще має невеликі втрати на випромінювання, виникає можливість роботи ГДВ на одній із гілок зв'язаних мод в широкій смузі частот.

У висновках узагальнено основні результати дисертації, які показують, що мету роботи досягнуто і поставлені завдання виконано, а також вказано на можливість застосування розроблених методик та отриманих результатів при інших дослідженнях відкритих резонансних систем та пристроїв на їх основі.

7. Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

В авторефераті дисертації Є.О. Ковальова докладно висвітлено актуальність, наукову новизну і практичну значущість роботи, сформульовані основні результати, положення та висновки, що представлені до захисту. Наведено список робіт здобувача та відомості про апробації одержаних результатів. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням і змісту дисертації. Дисертаційна робота та автореферат оформлено у відповідності з сучасними вимогами, що висуваються до кандидатських дисертацій.

8. Недоліки та зауваження.

При загальному високому рівні проведених наукових досліджень, отриманих результатів та викладенню матеріалу дисертація Ковальова Є.О. має деякі недоліки, зокрема:

У Розділі 1 (огляді літератури) немає інформації про результати, що отримані іншими авторам при дослідженні властивостей відкритих резонансних систем з неоднорідностями (канавка, прямокутний виступ та ін.) на дзеркалі відкритого резонатора, хоча частково такий огляд проведено у вступній частині до Розділів 2, 3, 4 та 5.

У Розділі 2 при обґрунтуванні заміни здвоєної гребінки прямокутною канавкою в строгій 2-D електродинамічній моделі не розглянуті можливості збудження власних хвиль в прямокутній канавці трьохвимірної відкритої резонансної системи.

У вступі до Розділу 3 не вказано, що випадок Н-поляризації збуджуваних коливань визначається по твірній дзеркала, складеного з декількох циліндричних поверхонь, а ця інформація наведена лише в п.3.2. Також відсутня інформація, чому аналіз розподілу подовженого поля проведено лише для ТЕМ₀₀₄-моди.

При розгляді можливості селекції мод в резонаторі з багатофокусним дзеркалом за допомогою щілини, розміщеній на стику суміжних циліндричних поверхонь (п.3.4) не вказано, що це можливо лише у випадку Н- поляризації резонансного поля.

У Розділі 4 при дослідженні резонансного поля в асиметричній відкритій резонансній системі бажано було б навести не тільки розподіл електричної компоненти а і її фазу. Також немає пояснення суттєвої різниці в глибині провалу амплітуди поля при $x=0$ між даними 2-D моделювання і експериментом (Рис.4.7, ліва колонка).

В тексті дисертації є друкарські помилки, яких порівняно небагато, і вони не впливають на зміст викладеного матеріалу.

9. Висновок про дисертацію в цілому і відповідність її чинним вимогам.

Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку рецензованої роботи та не вступають в протиріччя з одержаними в дисертації основними результатами і сформульованими висновками. За темою проведених досліджень, змістом і висновками дисертація Ковальова Є.О. повністю відповідає спеціальності 01.04.03 - радіофізика.

Основні матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих наукових виданнях і представлені в доповідях на міжнародних конференціях з тематики досліджень. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням і змісту дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота Ковальова Євгена Олександровича є самостійним, кваліфікованим і завершеним науковим дослідженням, яке свідчить про те, що здобувач здатен виконувати як фахові експериментальні дослідження, так і проводити моделювання властивостей відкритих резонансних систем із застосуванням строгих електродинамічних моделей, надавати обґрунтовану інтерпретацію отриманих результатів та формулювати висновки з проведених досліджень.

Виклад матеріалу в дисертації відповідає сучасним вимогам, суть проведених досліджень викладено достатньо чітко хорошою українською мовою із застосуванням коректної наукової термінології.

В цілому, вважаю, що за актуальністю, обсягом виконаних досліджень, новизною та науковим рівнем одержаних результатів, науково-практичною значимістю дисертаційна робота “ Відкриті резонансні системи для генераторів дифракційного випромінювання з розвинутим простором взаємодії ” повністю відповідає вимогам, зазначеним у п.11. “ Порядку присудження наукових ступенів ”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Ковальов Євген Олександрович, безперечно заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 - радіофізика.

Офіційний опонент,
кандидат фізико-математичних наук, с. н. с.,
старший науковий співробітник відділу
теоретичної радіофізики
Радіоастрономічного інституту НАН України

Д. Селю

Д.Г. Селезньов

6 вересня 2021 року

Підпис Д.Г. Селезньова засвідчую
Вчений секретар
Радіоастрономічного інституту НАН України,
кандидат фізико-математичних наук



Ю.В. Антоненко

Ю.В. Антоненко