

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Носатюка Сергія Олеговича "Збудження мод шепочучої галереї в екранованих квазіоптичних діелектричних резонаторах планарним хвилеводом", яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Актуальність теми. Відкриті квазіоптичні діелектричні резонатори (КДР) з модами шепочучої галереї мають добре відомі переваги електродинамічних характеристик у порівнянні з іншими резонаторами міліметрового діапазону довжин хвиль. Головними з них є висока добротність та відносно розряджений спектр. Але основною перешкодою на шляху їх застосування у конкретних приладах та пристроях міліметрових хвиль є низька завадозахищеність. Вирішити цю проблему дозволяє екранування таких резонаторів. Але відомо, що спектральні характеристики закритих резонаторів є суттєво погіршеними у відношенні до відкритих резонаторів за причиною збудження в них інших мод шепочучої галереї типів коливань таких, як променеві, «більярд», «стрибучий м'ячик». Крім того, розташування провідних елементів в конструкції діелектричних резонаторів, а саме, в полі робочих коливань, веде до зниження добротності за причиною додаткових омичних втрат. Означені вище причини обмежують як дослідження екранованих КДР, так і їх застосування в техніці міліметрових хвиль.

Як показали раніш проведені експериментальні дослідження відкритих КДР, суттєву роль у формуванні їх електродинамічних характеристик відіграють способи збудження робочих типів коливань. З одного боку розташування елемента зв'язку (збудження) в полі коливань веде до виникнення додаткових дифракційних втрат, що погіршує добротність резонаторів. З іншого боку, локальні елементи зв'язку являють собою збурюючу неоднорідність, яка впливає не тільки на спектральні та енергетичні характеристики КДР, але й веде до змінення розподілу резонансних полів робочих коливань.

Вирішенню двох таких важливих задач і присвячена дисертаційна робота Носатюка С.О. Тому її актуальність не викликає сумнівів.

Наукова новизна та обґрунтованість результатів, що отримано. Головна наукова новизна роботи Носатюка С.О. полягає в розробці нового способу збудження екранованих КДР на модах ШГ шляхом застосування планарного хвилеводу та дослідженні його впливу на основні електродинамічні характеристики закритих резонаторів.

На підставі проведених експериментальних досліджень збудження мод ШГ в одно- та двошарових екранованих КДР *вперше* встановлено, що планарний хвилевід, як джерело збудження мод вищих порядків типу ШГ, суттєво не впливає на власні спектральні характеристики резонаторів та не веде до погіршення їх власної добротності на відміну від існуючих способів збудження. Цікавим є той факт, що при застосуванні планарного хвилеводу була досягнута навантажена добротність екранованих КДР яка наближена до їх власної добротності. *Вперше* показано, що електроманітний зв'язок планарного хвилеводу з екранованими КДР різних форм характеризується достатньо високою ефективністю як на ділянках підводу енергії до резонаторів, так і при виводі її з них. Підтвердженням цьому є високі значення коефіцієнту передачі сигналу на виході резонатора. *Вперше* шляхом застосування планарного хвилеводу розв'язано задачу розрядження щільного спектру екранованих КДР завдяки підводу енергії електромагнітного поля від зовнішнього джерела безпосередньо до області локалізації полів мод ШГ в досліджуваних резонаторах. Моді іншої природи з відмінним до мод ШГ розподілом резонансних полів в екранованих КДР не збуджуються або ефективність їх збудження суттєво низька. До нових та цікавих результатів дисертаційної роботи Носатюка С.О. слід віднести також експериментальне підтвердження можливості досягнення «надвисокої» добротності двошарових екранованих КДР. Шляхом вивчення розподілу полів мод ШГ в таких резонаторах автором роботи показано, що втрати енергії в закритих резонаторах можуть бути меншими навіть у відношенні до відкритих резонаторів. Зсув резонансного полю до повітряного зазору між діелектричною структурою резонатора та його металевим екраном таким чином, що його інтенсивність на межі з екраном мала, обумовлює суттєве зниження власних втрат у порівнянні як з одношаровими екраниованими КДР, так і з відкритими КДР.

Безумовно, заслуговує уваги запропоноване використання планарного хвилеводу з екранованим КДР щодо дослідження електрофізичних характеристик рідин у 8-мм діапазоні довжин хвиль. Встановлено, що завдяки малому збуренню резонансних полів робочих мод ШГ в екранованих резонаторах при їх збудженні планарним хвилеводом вдається визначити розрізнявальні ознаки рідин з близькими значеннями комплексної діелектричної проникності.

Вірогідність отриманих результатів. Обґрунтованість і достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується використанням апробованих методик експериментальних досліджень в міліметровому діапазоні довжин хвиль. Результати експериментальних досліджень підтверджено результатами комп'ютерного моделювання шляхом використання відомих програмних



продуктів, таких як CST Microwave Studio 2011. Основні висновки до одержаних результатів експериментальних досліджень підтверджено їх багаторазовими спостереженнями.

Практичне значення одержаних результатів. Результати, одержані в дисертаційній роботі Носатюка С.О., розширюють практичне застосування твердотільних резонансних структур з модами ШГ в техніці міліметрових хвиль.

Автором дисертаційної роботи показано одне з можливих використань ефективного збудження мод ШГ в екранованих КДР планарним хвилеводом, а саме, щодо дослідження електрофізичних параметрів рідин з високими втратами енергії електромагнітного поля. Завдяки несуттєвості негативного впливу запропонованого способу збудження планарним хвилеводом, пристрої, призначені розв'язанню задач діелектрометрії, матимуть покращені функціональні можливості. В першу чергу, до них слід віднести високу розрізнявальну здібність щодо виміру комплексної діелектричної проникності рідин.

Значну проблему при створенні схем стабілізації частоти та макетів суматорів потужностей являє собою розташування активних елементів в коливальних системах автогенераторів. Кожен з них є локальною неоднорідністю до резонансних полів робочих мод коливань, яка веде до зменшення добротності резонаторів. З позицій характеристик вихідних сигналів зазначених вище активних пристроїв це означає погіршення коефіцієнтів стабілізації частоти та сумування потужностей окремих діодів. Використання електромагнітного зв'язку екранованих резонаторів з планарними хвилеводами може вирішити цю проблему шляхом розташування генеруючих елементів за межами резонансних полів робочих мод коливань, а саме, в планарних хвилеводах. Їх висока ефективність зв'язку з резонаторами дозволить використати схему «на прохід» при створенні схем стабілізації частоти та суматорів потужностей. Протяжний характер конструкції планарних хвилеводів дозволить здійснювати одночасне сумування потужностей декількох діодів (більш трьох), що може значно розширити можливості суматорів потужностей.

Зауваження та недоліки. Підтверджуючи наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, по суті їх змісту необхідно зробити наступні зауваження:

1. В розділі 1 дисертаційної роботи зроблено огляд наукової літератури в двох напрямках. По-перше, представлено теорію та експериментальні результати раніш проведених досліджень відкритих та закритих резонаторів різних конструкцій. З іншого боку показано різні способи їх збудження на модах

вищих порядків. При цьому недостатньо приділено уваги способам збудження основних мод коливань. Також недостатньо представлено можливості розподіленого зв'язку твердотільних резонаторів з мікрополосковими лініями передачі та їх модифікаціями. Такий огляд допоміг би зробити більш логічний перехід до планарних хвилевідних структур.

2. У розділі 2 не надано пояснень щодо неможливості збудження TE (HE) мод коливань ШГ планарним хвилеводом в екранованих резонаторах зі сферичним (циліндричним) типом поверхонь діелектричних резонансних структур.

3. У розділі 3 представлено розподіл полів в планарних хвилеводах на ділянках з протяжністю близькою до довжини хвилі. Хотілось би розвинути їх щодо ділянок планарних хвилеводів, протяжність яких значно перевищує довжину хвилі. Це саме має відношення і до результатів дослідження коефіцієнту передачі.

4. Виходячи із структури роботи, підрозділ 5.1 бажано було б розмістити у розділі 2.

5. У розділі 5 при проведенні досліджень рідин автор обмежився лише даними про поведінку частоти і добротності. При цьому не до кінця розв'язано задачу про діелектричну проникність досліджуваних спиртоводяних розчинів.

Разом з тим, вказані зауваження не порушують принципово суть роботи, суттєво не впливають на кінцеві результати досліджень, не зменшують наукову значущість і актуальність дисертації та не знижують оцінку наукового рівня роботи.

Переходячи до загальної оцінки дисертації слід зазначити, що вона представляється закінченим і цілісним дослідженням, з чіткою структурою і логічним викладанням матеріалу і свідчить про персональний внесок автора в радіофізику.

Аналіз публікацій автора показав, що вони мають усі необхідні елементи, що підкреслюють повноту і глибину розкриття досліджуваних питань. Результати дисертаційної роботи досить повно висвітлено у відповідних публікаціях, що включають 6 статей, які опубліковано в журналах і збірниках, що входять до відповідного переліку за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика. Основні результати роботи апробовані на 6 міжнародних і всеукраїнських конференціях.

Зміст та структура автореферату Носатюка С.О. цілком відповідає структурі, основним положенням та висновкам дисертації.

Висновки по роботі в цілому. Дисертаційна робота Носатюка С.О. "Збудження мод шепочучої галереї в екранованих квазіоптичних діелектричних



резонаторах планарним хвилеводом" є завершеною працею, а відображені в ній науково обгрунтовані результати є значним досягненням для розвитку радіофізики.

З урахуванням актуальності, новизни, теоретичної та практичної значущості результатів вважаю, що дисертаційна робота Носатюка С.О. "Збудження мод шепочучої галереї в екранованих квазіоптичних діелектричних резонаторах планарним хвилеводом" повністю відповідає вимогам положення про "Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а її автор, Носатюк Сергій Олегович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент  
доктор фізико-математичних наук,  
провідний науковий співробітник  
відділу теоретичної радіофізики  
Радіоастрономічного інституту НАН України,  
старший науковий співробітник

О.В. Грибовський

Підпис Грибовського ОВ  
ЗАСВІДЧУЮ

Вчений секретар РІ НАН України,  
к.ф.-м.н. А.В.Удовенко

