

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Музичишина Богдана Ігоровича

“Відкриті коливальні системи для ефективного підсумовування потужностей у міліметровому діапазоні”, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 — Природничі науки за спеціальністю 104 — фізика та астрономія

### **Актуальність дослідження.**

Задача підсумовування потужностей твердотільних джерел у відкритому резонаторі розглядалася досить давно. В нашому інституті, починаючи з кінця сімдесятих років, її розглядали Булгаков, Бородкін, Смородін. Вдавалося скласти потужність від двох до шести джерел. Надалі ця тематика набула розвитку. Як активні джерела використовувалися діоди Гана і лавинно-прогонові діоди. Основним питанням при цьому є: який резонатор використовувати і як розмістити джерела, щоб отримати максимальний коефіцієнт підсумовування, тобто як узгодити імпеданси джерела та відкритого резонатора.

Одним з обмежень на кількість джерел є тепло, що виділяється. Чим більше джерел, тим більше тепла виділятиметься. З іншого боку збільшення кількості джерел призводить до звуження смуги синхронізації, тобто смуги частот, де пристрій можна перебудувати, наприклад, зміщуючи верхнє дзеркало резонатора. Останніми роками інтерес до цієї тематики дещо знизився, оскільки переключилися на ґратки з підсилюючих транзисторів, які мають на порядок більший коефіцієнт корисної дії, ніж діоди. Однак задача складання джерел у відкритому резонаторі залишається актуальною, особливо під час переходу в субміліметровий діапазон довжин хвиль. При цьому найбільш перспективною залишається система для підсумовування джерел, які винесені з резонансного обсягу.

## **Ступінь наукової обґрунтованості та наукова новизна результатів роботи.**

Достовірність результатів дисертаційної роботи базується на використанні методів квазіоптики та відомих чисельних методів розв'язування задач електродинаміки та порівняння теоретичних розрахунків з результатами експериментальних досліджень. Так у дисертаційній роботі використовуються: метод розрахунку енергетичних характеристик антен у ближній зоні; метод пробного тіла для вимірювання структур електричних полів типів коливань, що збуджуються в резонаторах за допомогою щілинних та апертурних елементів зв'язку; добре відомі методи НВЧ вимірювань при експериментальних дослідженнях відкритих коливальних систем і фізичних явищ, що в них відбуваються.

Наукова новизна дисертаційної роботи Музичишина Б.І. визначається наступним:

1. Запропоновано при дослідженні підсумовування потужностей двох джерел у ВР, в якому збуджується перший вищий аксіально-несиметричний тип коливань  $TEM_{10q}$ , використовувати хвилевідній  $E$ -трійник. Завдяки цьому використовується один діод Ганна, потужність якого ділиться навпіл.
2. Вперше експериментально встановлено, що максимальний коефіцієнт підсумовування потужностей двох джерел у ВР, в якому збуджується перший вищий аксіально-несиметричний тип коливань  $TEM_{10q}$  за допомогою апертурних елементів зв'язку, становить величину 0,9.
3. Експериментально встановлено, що при збудженні у відкритій коливальній системі типів коливань за допомогою щілинних елементів зв'язку, виконаних на криволінійному відбивачі і зміщених до периферії дзеркал більше, ніж на дві довжини хвилі, в резонаторі збуджуються аксіально-симетричні типи коливань квазі- $TEM^*_{11q}$  та квазі- $TEM^*_{01q}$ .

**Структура і зміст дисертації.** Результати дисертаційної роботи повністю відображено у 7 публікаціях: в 3 наукових статтях, з яких одна

індексується в міжнародних наукометричних базах даних Web of Science та Scopus і дві статті опубліковано у фаховому науковому виданні України, в одному патенті України на винахід, а також у 3 збірках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Дисертація містить анотацію, вступ, п'ять розділів, висновки, перелік використаних джерел та перелік публікацій автора.

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету та задачі роботи, наведено стислу характеристику результатів, ступінь їхньої апробації та перелік публікацій.

*Другий розділ* дисертаційної роботи присвячено дослідженню підсумовування потужностей двох джерел у напівсферичному відкритому резонаторі (ВР), що збуджується за допомогою щілинних елементів зв'язку. У резонаторі збуджується перший вищий аксіально-несиметричний тип коливань. Завдяки включенню до експериментального стенду хвилевідного  $E$ -трійника автор провів ці дослідження, використовуючи лише одне джерело – діод Ганна. Як виявилось, при перебудові ВР максимально досягне значення коефіцієнта підсумовування потужностей не перевищує 0,72. У цьому необхідно, щоб у резонаторі збуджувалося лише робоче коливання.

*Третій розділ* роботи містить результати досліджень щодо підсумовування потужностей двох джерел у напівсферичному ВР, в якому збуджується те ж коливання. В цьому випадку використовуються два апертурні елементи зв'язку. Вони являють собою пірамідальні рупори, геометричні розміри яких визначаються довжиною хвилі і параметрами резонатора. Зв'язок з хвилевідними трактами регулюється періодами дротяних  $E$ - поляризованих ґраток у розкритвах елементів зв'язку. У цьому випадку вдалося отримати коефіцієнт підсумовування на рівні 0,9.

*Четвертий розділ* дисертаційної роботи містить результати чисельного моделювання з підсумовування в резонаторі потужностей двох діодів Ганна на частотах основних і других гармонік. Як показано, вибираючи відповідним чином розміри елементів зв'язку і періоди дротяних  $E$ -

поляризованих ґраток в їх розкривах, можна у ВР ефективно скласти сигнали на частотах других гармонік діодів і істотно послабити сигнали джерел на основній частоті.

*П'ятий розділ* дисертаційної роботи є заключним, що містить результати досліджень ВР, у центрі одного із дзеркал якого встановлено відрізок круглого надрозмірного хвилеводу. У такому складовому резонаторі при певній довжині відрізка круглого хвилеводу існують тільки аксіально-симетричні коливання, структура електричного поля яких визначається хвилею  $TE_{01}$  цього хвилеводу. При збудженні коливань елементом зв'язку, зміщеному до периферії дзеркала, в резонаторі збуджуються коливання, які не піддаються відомій класифікації. Така резонансна система, як і резонатор з відрізком надрозмірного коаксіального хвилеводу, можуть знайти застосування для підсумовування потужностей окремих джерел.

**Практичне значення наукових результатів.** Отримані результати щодо збудження у відкритих коливальних системах з відрізком круглого хвилеводу високочастотного типу коливань  $TEM_{11q}^*$  дозволять використовувати таку резонансну систему для вимірювання резонансним методом електрофізичних параметрів речовин, що мають плоску або циліндричну форми. Така резонансна система може застосовуватися як у міліметровому, так і субміліметровому діапазонах довжин хвиль для проведення вимірювань у біології, медицині, матеріалознавстві та в багатьох інших областях.

**Відомості про дотримання академічної доброчесності.** У дисертаційній роботі та публікаціях Музичишина Б.І. неправомірних запозичень та ознак порушення академічної доброчесності не виявлено.

### **Зауваження до дисертаційної роботи.**

1. АЧХ хвилевідних вузлів, таких як, наприклад,  $E$ - трійник, отримані експериментально. Хотілося б, щоб було порівняння з теоретичними розрахунками. Це краще виглядало б, і було б не зайвим підтвердженням, що експеримент проведено правильно.
2. В тексті зазначено важливість використання високих частот. Але у самих висновках та пунктах новизни цього немає. Частотні діапазони в кожному розділі наведені. Але важливо було б підкреслити високочастотність чи крок до неї у висновках та пунктах новизни. Адже саме в опануванні високих частот квазіоптичні прилади залишаються актуальними.
3. У роботі є низка невірно вжитих українських слів.

Зроблені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну високу позитивну оцінку дисертації Музичишина Б.І. Наведені зауваження не впливають на якість, наукову новизну та практичну значимість дисертації. Тому їх можна розглядати як побажання.

### **Висновок щодо відповідності дисертації нормам.**

Вважаю, що дисертаційна робота Музичишина Б.І. “Відкриті коливальні системи для ефективного підсумовування потужностей у міліметровому діапазоні” є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних і достовірних результатів, що свідчать про її складність, систематичність та важливе значення для розробки потужних джерел безперервного та імпульсного випромінювання не лише міліметрового, а й субміліметрового діапазонів довжин хвиль. Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. “Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій” (з наступними змінами) та “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Музичишин

Богдан Ігорович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та Астрономія».

Рецензент доктор фіз.-мат. наук, с.н.с.,

Зав. лабораторії обчислювальної електродинаміки

відділу теорії дифракції та дифракційної електроніки

ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України Сергій СТЕШЕНКО

Підпис С.О. Стешенко засвідчую.

ВО Вченого секретаря

ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України

кандидат фіз.-мат. наук Олена КРИВЕНКО

