

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Натарова Михайла Петровича «Радіаційні втрати та ефективність елементів зв'язку і джерел збудження квазіоптичних відкритих резонаторів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

У дисертаційній роботі Натарова М. П. розглянуто найменш вивчені електродинамічні властивості квазіоптичних відкритих резонаторів, а саме радіаційні втрати енергії при наявності у резонаторі елемента зв'язку або джерела збудження.

Актуальність теми дисертації. Відкриті резонатори широко застосовують в електровакуумних і напівпровідникових генераторах і перетворювачах частоти в якості резонансних систем, в спектроскопії і діелектрометрії, як резонансні комірки для вимірювань. Відомі застосування резонаторів цього типу для вимірювань механічних величин: мікропереміщень, мікросейсмічних коливань, тиску, в гравіметрії та ін. Досліджувалися можливості надпровідних резонаторів в проблемі детектування гравітаційних хвиль. Підвищення коефіцієнту корисної дії генераторів, чутливості спектрометрів і діелектрометрів прямо пов'язане з втратами в їх резонансних системах, ефективністю збудження коливань в них, ефективністю виведення енергії з резонансної системи. Відомо, що при збудженні відкритих резонаторів зосередженими джерелами електромагнітної енергії крім резонансних коливань збуджуються ще й хвилі, які прямо випромінюються у вільний простір, не беручи участь в підживленні резонансного коливання. При виведенні енергії з резонатора поле резонансної моди розсіюється на пристрої зв'язку, що також призводить до радіаційних втрат енергії. Однак, до останнього часу в теорії відкритих резонаторів це явище залишалось найменш дослідженим з точки зору кількісних характеристик і конкретних фізичних механізмів.

Дослідження цієї проблеми до останнього часу проводилися епізодично і, зазвичай, обмежувалися наближеними експериментальними або теоретичними оцінками. Відомі результати розв'язання відповідних задач в строгой постановці отримані лише для деяких окремих випадків. Були відсутні систематичні дані про те, за яких умов коливання у ВР збуджуються з високою ефективністю, які фактори призводять до її зниження, які пристрої зв'язку найбільш ефективні у ВР для збудження коливань і виведення енергії. Строга теорія збудження ВР, що враховує нерезонансне випромінювання, розроблена для деяких типів ВР в загальному вигляді і призводить до значних, а часом непереборних, обчислювальних труднощів при розрахунках характеристик нерезонансного випромінювання реальних конфігурацій ВР. Таким чином, проведення систематичних теоретичних і експериментальних досліджень для правильного і повного розуміння та адекватного опису явищ у відкритих резонаторах з пристроями зв'язку або з джерелами збудження електромагнітної енергії є актуальною задачею.

Дисертацію виконано в рамках наукових програм досліджень, що проводяться у відділі твердотільної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. А. Я. Усикова НАН України, що є ще одним свідченням актуальності обраної теми дисертаційної роботи.

Наукова новизна результатів, отриманих автором роботи.

Розроблено новий метод вимірювання радіаційних втрат елемента зв'язку квазіоптичного відкритого резонатора. Для коректного вимірювання запасеної енергії вперше запропоновано використовувати елемент зв'язку, який прокалібрований за спеціальною методикою. Модифіковано еквівалентну схему відкритого резонатора з елементом зв'язку. Методом імпедансу вперше проведено виміри величин кожного виду втрат відкритого резонатора та елемента зв'язку в околі резонансної частоти.

Побудовано наближену модель збудження з хвилеводу квазіоптичного відкритого резонатора, яка вперше дозволила провести чисельне моделювання радіаційних втрат пристрою зв'язку. За допомогою моделі,

побудованої методом заданих струмів, вперше проведено чисельне моделювання збудження квазіоптичного резонатора різними конфігураціями елементарних диполів.

Вперше показано, що поле хвилі, яка проходить через елемент зв'язку та компенсує втрати резонансної моди, синфазне з полем резонансної моди. Встановлено, що залежність ефективності збудження від розстройки резонатора має резонансний вигляд з максимумом на частоті власного резонансу, а умовою досягнення максимальної ефективності збудження є рівність амплітуд полів нерезонансного випромінювання та розсіювання.

Вперше теоретично та експериментально показано, що до зниження ефективності збудження резонатора на частоті навантаженого резонансу призводить невиконання фазових або амплітудних умов, яке може бути зумовлене зміщенням частоти навантаженого резонансу відносно частоти власного резонансу.

Вперше доведено, що ефективність виведення енергії з відкритого резонатора не має резонансної залежності і визначається, головним чином, розсіювальними властивостями самого елемента зв'язку, а при однаковому коефіцієнті зв'язку щілинні елементи мають завжди більш високу ефективність, ніж отвори в діафрагмі, як при виведенні енергії, так і при збудженні резонатора..

Достовірність отриманих результатів і висновків підтверджується тим, що для експериментального дослідження коливальних і хвильових процесів у відкритих резонаторах автор використовував сукупність добре відомих та апробованих методів вимірювань характеристик полів та хвиль у міліметровому діапазоні з новими оригінальними методами вимірювань, в основі яких лежать також відомі апробовані методи. Вимірювання радіаційних втрат проведено двома методами, розбіжність результатів не перевищує похибку вимірювань. Результати теоретичних досліджень якісно співпадають з експериментальними даними. Теоретичні дослідження

базуються на зрозумілих, фізично адекватних моделях і відомих апробованих методах розв'язування задач розсіювання електромагнітних хвиль.

Наукова і практична значущість отриманих результатів.

Результати, які одержано у дисертаційній роботі, можуть бути застосовані при розроблюванні квазіоптичних пристроїв міліметрового діапазону хвиль. Отримані знання про фізичні причини додаткових радіаційних втрат елементів зв'язку у відкритих резонаторах, загальні порівняльні характеристики елементів зв'язку різних типів допоможуть оптимально обирати та застосовувати ті, чи інші конструкції елементів зв'язку під час проектування відкритих резонаторів різного призначення.

Розроблені методи вимірювання ефективності збудження та виведення енергії коливань елементами зв'язку дають можливість практично оптимізувати енергетичні характеристики коливальних систем при розроблюванні твердотільних та електровакуумних приладів, а також покращувати характеристики вимірювальних приладів, в яких використовують відкриті резонатори.

Точне і математично строге розв'язання задачі дифракції хвиль у відкритих резонансних системах вдається отримати далеко не завжди. У зв'язку з цим важливого значення набувають наближені методи розрахунку. Застосування таких методів дозволить значною мірою полегшити синтез відкритих резонаторів із заданими характеристиками, що особливо важливо при практичному використанні перспективних способів генерування і посилення електромагнітних хвиль.

У дисертаційній роботі є деякі недоліки.

1. Не дивлячись на те, що в дисертаційній роботі розроблено феноменологічну модель, в якій не ставиться мета пояснити ті чи інші явища, необхідно було б дати чітке пояснення наступних ефектів:

- чому при збільшенні ширини щілини елемента зв'язку втрати на розсіювання ростуть?

- чому зміщення елемента зв'язку щодо центру дзеркала резонатора впливає на ефективність його збудження?

- чому ефективність виведення енергії з резонатора залежить від ширини щілини елемента зв'язку?

2. На рис. 3.1 не вказано, а в виразі (3.1) не визначений параметр d , що позначає ширину хвилеводу.

3. Система рівнянь (3.9) записана некоректно, не вказані межі зміни індексу n .

4. У виразах (3.43) - (3.45) не визначені індекси q , m , n .

5. На рис. 3.13 не визначений параметр F .

6. Якість рисунка 4.15 ускладнює його читання.

Зазначені зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку проведених в дисертаційній роботі досліджень. Дисертаційна робота Натарова М.П. написана логічно і аргументовано, оформлена відповідно до вимог, що пред'являються до кандидатських дисертацій. Матеріали роботи пройшли необхідну апробацію на конференціях і семінарах. Основні результати опубліковано у 11 статтях, отримано авторське свідоцтво на винахід, зроблено 4 доповіді на українських та міжнародних конференціях. Зміст та структура автореферату здобувача Натарова М.П. цілком відповідає структурі, основним положенням і висновкам дисертації.

Висновки по роботі. Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою в галузі радіофізики. Здобувач виконав велику роботу із складних експериментальних і теоретичних досліджень, що вказує на його високий рівень як фахівця. Виконав цікаві численні дослідження, виявив нові ефекти і закономірності стосовно радіаційних втрат у відкритих резонаторах з різними елементами зв'язку. Їм були отримані нові фізичні результати, що мають наукове і практичне значення.

Кандидатська дисертація Натарова Михайла Петровича "Радіаційні втрати та ефективність елементів зв'язку і джерел збудження квазіоптичних відкритих резонаторів", в цілому, є завершеною науковою роботою.

Дисертація і автореферат свідчать про те, що автор є кваліфікованим фахівцем, який володіє широким колом знань в області теоретичної і експериментальної радіофізики. Дисертація в цілому по отриманим результатам, за змістом і оформленням задовольняє всім вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій, а її автор, Натаров Михайло Петрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 - радіофізика

Офіційний опонент:

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

О. В. Грибовський

Підпис О.В. Грибовського

засвідчую:

Вчений секретар РІ НАН України,
кандидат фіз.-мат. наук



А.П. Удовенко

"13" березня 2018 р.