

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Бреславця Олексія Андрійовича «Наддобротні коливання в НВЧ резонансних структурах з металевими та діелектричними неоднорідностями», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія

Великий інтерес до вивчення специфічних фізичних властивостей надвисокочастотних (НВЧ) резонансних структур та резонансних метаповерхонь з діелектричними та металевими неоднорідностями зумовлений тим, що вони є перспективним матеріалом для використання в компонентах радіоелектронних пристроїв, які застосовуються в НВЧ електроніці, телекомунікаційних технологіях. Їх застосування як високочутливих сенсорів відкриває великі можливості у галузі медицини. Тому, подальший розвиток НВЧ резонаторів і метаповерхонь потребує експериментального дослідження впливу неоднорідностей на резонансні явища та виявлення закономірностей і механізмів, відповідальних за ці явища. Дисертаційна робота Бреславця О. А. саме і присвячена дослідженню НВЧ резонансних структур та резонансних метаповерхонь з діелектричними та металевими випадковими неоднорідностями з точки зору їх спектральних характеристик.

Актуальність теми дисертаційної роботи Бреславця О. А. обумовлена як важливістю з точки зору фундаментальних досліджень, так і практичним інтересом в галузі радіофізики та діелектрометрії. А саме, вона полягає в необхідності вивчення залежності спектральних характеристик та основних механізмів, відповідальних за фізичні процеси, від неоднорідностей та спотворень форми резонансних структур, що обумовлює їх **практичну значимість** застосування та перспективність використання даних таких досліджень.

Метою дисертаційної роботи є вивчення резонансних явищ у НВЧ структурах та в резонансних метаповерхнях з діелектричними та металевими неоднорідностями. Для досягнення поставленої мети було виконано наступні завдання: досліджено електромагнітні коливання в НВЧ резонаторах для задачі вимірювання діелектричної проникності твердотільних зразків у широкому діапазоні діелектричної проникності (від 1 до 20 одиниць) з надмалим тангенсом кута діелектричних втрат (до 5×10^{-6}); досліджено електромагнітні коливання в резонаторах в формі тіл обертання довільної форми; виявлено ознаки явища хвильового хаосу на прикладі закритого циліндричного НВЧ резонатора з випадковими об'ємними неоднорідностями; досліджено поширення електромагнітних коливань в метал-діелектричній метаповерхні для визначення наявності електромагнітної індукованої прозорості. **Достовірність** отриманих у роботі експериментальних результатів підтверджується використанням апробованих методів і методик досліджень та відповідного сучасного експериментального обладнання, використанням реперних зразків в експериментах, порівняльним аналізом з даними, отриманими науковими групами, а також публікаціях у рейтингових фахових міжнародних журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз.

Структура дисертаційної роботи О. А. Бреславця складається з анотації, вступу, п'ятьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку, що містить список публікацій здобувача. Результати дисертації викладено в 4 статтях, які опубліковано в реферованих періодичних фахових виданнях та 13 тезах доповідей у збірниках праць міжнародних та вітчизняних конференцій.

У **першому розділі** дисертації було проаналізовано літературні джерела за темою досліджень, на основі чого виділено основні переваги та недоліки аналогічних дослідженням резонансних структур і методів їх розрахунку. Показано, наприклад, що значний науковий та практичний інтерес викликають відкриті сферичні резонатори, які мають значну добротність і є компактними та зручними для визначення діелектричних параметрів твердих діелектричних матеріалів. Також показано, яким чином параметри об'ємних неоднорідностей впливають на ознаки явища хвильового хаосу в закритій НВЧ резонансній структурі. Проаналізовано умови виникнення в метал-діелектричній метаповерхні значної кількості смуг електромагнітної індукованої прозорості, а також збільшення часу групової затримки, що може знайти широке застосування, зокрема, у багатосмугових фільтрах та комутаційних пристроях. В результаті було сформульовано основні завдання роботи.

У **другому розділі** дисертації для отримання спектральних характеристик, оптимальних для вимірювання діелектричної проникності твердотільних зразків мінімальних розмірів у широкому діапазоні діелектричної проникності (від 1 до 20 одиниць) з надмалим тангенсом кута діелектричних втрат (до 5×10^{-6}), запропоновано схему компактного відкритого сферичного та закритого циліндричного НВЧ резонаторів.

У **третьому розділі** дисертації розраховано власні частоти закритих НВЧ резонаторів довільної форми тіл обертання зі сферичним діелектричним включенням методикою граничних умов в окремих точках на границі розділу середовищ, а його результат вичерпно підтверджений за допомогою аналогічних добре відомих методів.

У **четвертому розділі** дисертації в закритому циліндричному НВЧ резонаторі бильярдного типу визначено залежність розподілення імовірності міжчастотних інтервалів частотного спектру від параметрів випадкових металевих об'ємних неоднорідностей.

У **п'ятому розділі** дисертації розроблено резонансну метал-діелектричну метаповерхню для отримання високих значень затримки часу проходження електромагнітної хвилі та добутку групової затримки на пропускну здатність кількості смуг пропускання.

Наприкінці кожного розділу дисертації наведено проміжні висновки. Також автором складено висновки, які узагальнюють результати всіх розділів дисертації. Вони наведені наприкінці роботи. Особистий внесок здобувача є визначальним.

Відмічу деякі, найбільш цікаві результати:

1. **Вперше** визначено алгоритм вимірювання діелектричної проникності в широкому діапазоні її значень (1-20) та надмалого тангенса кута діелектричних втрат (до 5×10^{-6}) твердого зразка в відкритому сферичному та закритому циліндричному резонаторах на основі калібрувальних характеристик резонансної частоти робочої моди й добротності резонатора. Показано, що алгоритм задовольняє вимогам до похибок вимірювання: 1) діелектричної проникності – $\leq 10\%$, 2) тангенса кута діелектричних втрат – $\leq 20\%$.

2. З використанням відомої методики граничних умов у локальних точках **вперше** розраховано резонансні частоти власних мод закритих діелектричних резонансних структур довільної форми тіл обертання і показано, що поля для граничних умов на зовнішній границі структури можна розраховувати на гладких поверхнях у меншій кількості окремих точок. Встановлено, що ця методика є більш зручнішою для вивчення міжмодової взаємодії, при цьому точність отриманих результатів сягає 0,6%.

3. Вперше теоретично й експериментально показано, що в закритому циліндричному резонаторі у разі асиметричного розташування неоднорідностей відносно осі циліндра

розподілення імовірності міжчастотних інтервалів наближається до функції Вігнера завдяки нерегулярному характеру зсуву резонансних ліній частотного спектру.

4. Розроблена метал-діелектрична метаповерхня, в результаті моделювання якої виявлено параметри структури зі збільшеною кількістю смуг електромагнітної індукованої прозорості, в спектрі яких отримано значення затримки часу набагато більше, ніж є у вимогах до сучасних пристроїв систем телекомунікацій.

Дисертаційна робота викликає ряд **питань** та дає привід для низки **зауважень**:

- У третьому розділі варто ширше розкрити питання похибки запропонованої методики.
- На с.136 заявлено, що було отримано залежності розподілу електромагнітного поля від розташування стрижнів, проте впродовж всього розділу перед цим наведено розподіл напруженості тільки електричного поля.
- На мою думку, на рис.2.2, 2.3,2.8,2.9 більш точним є термін «амплітудний спектр», а ні «спектр», так як спектр є комплексно-значна функція.
- Словосполучення на с.21 «в спектрі яких отримано значення затримки часу набагато більше...» потребує уточнення, так як спектр не відображає час.

Помічені недоліки не знижують значущість наведених експериментальних результатів. Основний здобуток дисертанта є отримання, **вперше**, низки експериментальних результатів по дослідженню зсуву частотних резонансних ліній спектру НВЧ структур, які є наслідком зміни структури неоднорідностей. Отримані в дисертації результати є корисними та сформульовані на їх основі висновки є цілком **обґрунтованими**.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. Дисертаційна робота відповідає потрібному рівню достовірності, оскільки в ній не виявлено текстових запозичень.

Вважаю дисертаційну роботу Бреславця О.А. **завершеним трудом**, самостійно підготовленою кваліфікаційною **науковою працею**, в якій отримані нові науково обґрунтовані та практично цінні результати. Результати роботи пройшли успішну **апробацію** на міжнародних наукових конференціях як в Україні, так і за кордоном.

Підсумовуючи все вищесказане, за актуальністю, новизною, науковим рівнем та обсягом проведених досліджень дисертаційна робота Бреславця О.А. **«Наддобротні коливання в НВЧ резонансних структурах з металевими та діелектричними неоднорідностями»** повністю відповідає вимогам МОН України до дисертації на здобуття ступеня доктора філософії, зокрема пп.9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Бреславець Олексій Андрійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю – 104 «Фізика та астрономія» (10 – Природничі науки).

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
ННЦ «ХФТІ» НАН України



Оксана ХАРЧЕНКО

Підпис Харченко О.І. засвідчую:
начальник відділу кадрів
ННЦ «ХФТІ» НАН України




Віта КОРШЕНКО