

## ВІДГУК

офіційного опонента Просвірніна С.Л. на дисертаційну роботу Рибіна Олега Миколайовича “Двокомпонентні метаматеріали і мікросмужкові антени на їх основі”, яку представлено на здобуття наукового ступеню доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – “радіофізика”

В дисертації О.М.Рибіна вивчено ефективні матеріальні властивості двокомпонентних метало-діелектричних штучних середовищ у НВЧ-діапазоні з метою побудування електродинамічної теорії цих середовищ і створення мініатюрних прямокутних мікросмужкових антен НВЧ з покращеними характеристиками за рахунок використання двокомпонентних метало-діелектричних середовищ у якості підкладок для цих антен.

Розглянуті здобувачем штучні середовища по суті є ізотропними однородними діелектриками з періодично вбудованими в них металевими включеннями циліндричної або сферичної форми. У дисертації були окремо розглянуті випадки немагнітних металевих включень і феромагнітних включень. Першому випадку цього розгляду присвячений другий розділ дисертації, а другому випадку – п'ятий. Крім того, для феромагнітних включень розглядалися два режими намагнічування: режим повного (до насичення) намагнічування та режим часткового намагнічування феромагнітних включень під дією зовнішнього постійного магнітного поля. При цьому розглядалося поширення електромагнітних хвиль як у напрямку зовнішнього магнітного поля, так й перпендикулярно до цього напрямку.

Таким чином, побудована в дисертації теорія отримання ефективних параметрів штучного середовища фактично складається із двох частин. Якщо перша частково перехресується з вже відомими окремими випадками, створеними іншими авторами, які здобувач вдало використовує для підтвердження достовірності отриманих їм результатів, то друга частина є новим напрямком дослідження, майже усі основні публікації за яким належать здобувачеві.

Дуже важливим розділом дисертації є експериментальні дослідження, за допомогою яких перша частина розробленої у дисертації теорії ефективного середовища підтверджується повністю, а друга – частково. Результати цих експериментальних досліджень наведено у третьому розділі дисертації. Більш того, в цьому розділі роботи пропонується новий спосіб вимірювання комплексних ефективних відносних проникностей композитів, який є простим і відносно дешевим в порівнянні з вже існуючими.

Для дослідження ефективних властивостей нерезонасних штучних матеріалів представляє суттєвий інтерес розроблений у четвертому розділі дисертації чисельно-аналітичний підхід пошарової декомпозиції. Тестове використання цього підходу у сукупності з декількома отриманими наближеннями



аналітичних розв'язків задач, розглянутих у тому ж розділі дисертації, дозволили дисертанту зробити деякі важливі фізичні висновки стосовно шаруватих штучних діелектриків.

Існує досить широкий перелік практично важливих застосувань штучних діелектриків і майже кожний день цей перелік розширюється. Тому сам факт проведення досліджень стосовно штучних діелектриків говорить про актуальність такої роботи. Крім того, у кожному розділі дисертант робив так чи інакше наголос на практичні застосування отриманих ним результатів, спираючись на дуже прості з фізичної точки зору пояснення. Більш того, останній шостий розділ (що є найбільшим розділом у дисертації) направлений на створення підходу до мініатюризації мікросмужкових прямокутних антен НВЧ-діапазону з подальшим поліпшенням характеристик ближнього та далекого полів таких антен. Здобувач у достатніх деталях виклав у роботі ідею цього підходу і теоретично, використовуючи комерційний електромагнітний симулятор PLANC FDTD, показав на достатньо простих прикладах як можна використовувати розглянуті у дисертації штучні середовища для конструювання компактних мікросмужкових прямокутних антен НВЧ-діапазону зі зменшеними значеннями інтенсивності ближнього полів, а також покращеними значеннями коефіцієнта посилення за потужністю і коефіцієнта корисної дії.

Важливість дослідження, що були проведені в дисертації, обумовлена не тільки великим значенням його для прикладних застосувань, а й суто науковою цінністю. Більш того, я вважаю, що на основі матеріалів дисертаційної роботи може бути розроблений принаймні спеціальний курс по кафедрі, де працює здобувач. Це дає мені змогу вважати тему проведеного Рибіним О.М дослідження актуальною як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

В цілому дисертаційна робота складається зі вступу, шістьох розділів, висновків і двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 337 сторінок, список використаних джерел налічує 225 найменувань українських та закордонних авторів, а власні результати опубліковано в 27-ох статтях, більшість з яких надруковано у провідних фахових журналах далекого зарубіжжя, а також 11-х тезах доповідей на міжнародних конференціях і симпозіумах.

Короткий зміст розділів дисертації вдало викладений в авторефераті дисертації та її анотації, як і коло практичних застосувань, де можуть бути використані результати даної дисертації, серед яких найбільш важливим на мою думку є:

- 1) створення штучних композитних магнітних матеріалів НВЧ-діапазону;
- 2) створення керованих поверхонь НВЧ-діапазону;
- 3) пропозиція щодо компактних бездротових систем передачі електричної енергії;
- 4) мініатюризація мікросмужкових прямокутних антен НВЧ-діапазону і антенних решіток на їх основі.

Достовірність результатів дисертації обумовлена коректністю викладок, використанням відомих методів теоретичної та обчислювальної електродинаміки,



збіганню результатів (в деяких граничних випадках) з аналогічними, отриманими іншими авторами, збіганню результатів теорії з результатами експерименту і доброї узгодженості усіх отриманих у роботі теоретичних результатів з результатами чисельного моделювання, яке виконувалося при використанні електромагнітного симулятора PLANC FDTD.

На мою думку результати, що отримані у дисертаційної роботи О. М. Рибіна можуть бути використані в таких наукових установах, як Радіоастрономічний інститут НАН України, Інститут радіофізики та електроніки імені О.Я Усикова НАН України, Інститут фізики НАН України, Інститут електродинаміки НАН України, Інститут магнетизму НАН України та Міністерства освіти і науки України, на радіофізичному і фізичному факультетах Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

Вважаю, що робота Рибіна О.М. в цілому заслуговує на високу оцінку. При цьому, як і будь-якій дисертаційній роботі, їй притаманні деякі недоліки:

1. Використання терміна «метаматеріал» є некоректним стосовно структур, властивості яких досліджені в роботі. Адекватним є термін «штучний діелектрик». Експерт в області метаматеріалів А. Сіхвола як необхідну умову належності до метаматеріалів указує «властивості, що не є такими, які спостерігаються у природних матеріалів»<sup>1</sup>. В дисертації такі матеріали не розглядаються.
2. Визначення метаматеріалів (стор. 36, 1 абзац) як «композитні матеріали зі штучно вбудованою симетрією» не відповідає загально прийнятним, та є некоректним, оскільки симетрія є властивість, а не об'єкт, який може бути вбудований.
3. В.Г. Веселаго не є українським вченим (стор. 40, 2 абзац). Дійсно, він народився у Запорізькій області, однак усе життя працює у Москві (дипломну роботу виконав у академіка Прохорова і працював в ФІАН, згодом - в Інституті загальної фізики РАН, викладав у МФТІ).
4. Стор. 55, 1 абзац – Е-поляризована хвиля не може існувати і не збуджується у цьому середовищі. Це має місце замість твердження у дисертації «... хвиля майже повністю згасає в середовищі (енергія хвилі майже повністю переходить у Джоулеве тепло).»
5. Помилка розмірності в формулі, яка пояснює (2.7) у наступній лінії.
6. Некоректні назви розділів 2.1.2, 2.2.2 і 5.3.3 «Ефективні оптичні властивості метаматеріалів ...» оскільки дослідження виконано на частоті 1 ГГц а не в оптичному діапазоні.
7. Ферити, як відомо, являють собою хімічні сполуки окису заліза з оксидами інших металів. Суміш спікають як кераміку. Таким чином, ферити - це штучні матеріали. Тому назва магнітного матеріалу в дисертації "штучні ферити" (стор. 170), на мою думку, є невдалою.

<sup>1</sup> Ari Sihvola, Metamaterials in electromagnetic (Invited Review), *Metamaterials*, 2007, 1, 2-11.



8. Умова наявності у решітки тільки головного пелюстка (стор. 249-250) сформульована невірно – на основі ширини зони крайових ефектів замість дистанції між центрами сусідніх випромінювачів.
9. Недоліком роботи також є відсутність урахування частотної дисперсії у низці чисельних досліджень.

Проте ці недоліки не є визначальними і не знижують загального позитивного враження від роботи.

Викладання матеріалів дисертації відповідає логіці запропонованого дослідження. Роботу написано доброю літературною мовою, її стиль відповідає прийнятому в наукових роботах.

Основні результати дисертації викладено досить повно в опублікованих автором наукових працях. Автореферат дисертації досить повно висвітлює результати дисертаційної роботи, а сама дисертація не має нічого спільного з кандидатською дисертацією здобувача.

Таким чином, теоретичні, експериментальні та чисельні дослідження, проведені Рибіним О.М. в його дисертаційній роботі, характеризуються значною науковою новизною, а цінність для науки і практики усіх висновків, алгоритмів та рекомендацій дисертанта не викликає сумнівів.

Вважаю, що дисертація Рибіна О.М. являє собою закінчене наукове дослідження, що виконано на високому науковому рівні. Робота відповідає усім вимогам Положень Міністерства науки і освіти України щодо докторських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 - "радіофізика".

Офіційний опонент

Завідувач відділу теоретичної радіофізики  
Радіоастрономічного інституту НАН України,  
доктор фізико-математичних наук, професор



С.Л. Просвірнін

Підпис доктора фіз.-мат. наук, проф. С.Л. Просвірніна засвідчую.

Вчений секретар

Радіоастрономічного інституту НАН України

« \_\_\_ » травня 2018 р.



А.П. Удовенко

