

## ВІДГУК

офіційного опонента  
на дисертаційну роботу **Світличного Віталія Анатолійовича**  
«Резонансна вихрострумова дефектоскопія тонких неферромагнітних  
плівок», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи  
контролю та визначення складу речовин

**Актуальність теми.** Тонкоплівкові провідні структури широко використовуються в мікроелектроніці, радіотехніці, НВЧ-техніці та в багатьох інших областях науки і техніки, де їх роль є надзвичайно висока. Технологія виготовлення тонких плівок досить складна, тому методам їх неруйнівного контролю приділяється значна увага. Тонкі провідні плівки є складним для електромагнітного контролю об'єктом, що обумовлено наявністю цілого ряду їх характерних особливостей, серед яких невизначена структура, неможливість кількісного опису електрофізичних властивостей, неоднозначність поширення електромагнітного поля в них, неможливість коректного визначення граничних умов, нестабільність електрофізичних властивостей внаслідок старіння. Вирішення хоча би деяких з цих проблемних питань може суттєво вплинути на ефективність проведення процесу контролю в цілому. Тому удосконалення резонансного вихрострумового методу дефектоскопії та створення відповідного пристрою, що забезпечує виявлення дефектів структури тонких неферромагнітних плівок, є актуальним науково-практичним завданням, яке визначило напрям досліджень у дисертаційній роботі, та обумовило актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі проектування і експлуатації електронних апаратів Харківського національного університету радіоелектроніки у рамках договору №131 від 20.07.2011 про науково-технічну співдружність з Науково-дослідницьким експертно-криміналістичним центром при ГУМВС України в Харківській області, де здобувач був виконавцем окремого розділу, та за результатами спільних науково-практичних досліджень з ДНВП «Об'єднання Комунар» (м. Харків) та Державного приладобудівного заводу ім. Т. Г. Шевченка «Моноліт ХГПО» (м. Харків).

**Наукова новизна виконаної роботи полягає в наступному:**

Розроблено метод резонансної вихрострумової дефектоскопії електропровідних неферромагнітних виробів, який дозволяє із підвищеною чутливістю контролювати такі дефекти, як наявність структури, що є несучільною та неоднорідною.

Удосконалена фізико-математична модель процесу взаємодії високочастотного резонансного вихрострумовеого перетворювача (ВСП) з тонкою електропровідною структурою за наявності дефектів суцільності, що надає можливість з більшою ефективністю контролювати дефекти неферромагнітних плівок.

Теоретично обґрунтовано, що ефективне виявлення дефектів недосконалості структури товщиною менш 0,01 мкм забезпечується при частоті струму збудження ВСП в діапазоні 10–30 МГц.

**Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, їхньої достовірності і новизни.** Основні результати дисертації є новими, що підтверджується їх публікацією в фахових виданнях. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків й рекомендацій, що були сформульовані у дисертаційній роботі здобувача, можна оцінити як достатньо високу. Вона обумовлена досить глибоким аналізом науково-технічних джерел, на основі яких була висвітлена проблематика контролю дефектів структури тонких провідних неферромагнітних плівок і сформульована мета й задачі дисертаційних досліджень; залученням сучасних способів й методів теоретичних досліджень; аналізом отриманих результатів в співставленні з опублікованими іншими дослідниками науково-технічними даними, які дозволили здобувачу коректно сформулювати висновки; підтвердженням валідності отриманих даних. Запропоновані дисертантом технічні рішення захищено патентами України.

Оцінити позитивно ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень розроблених математичних моделей і рекомендацій, наведених в дисертації, дозволяє адекватне використання в теоретичних дослідженнях фундаментальних основ електротехніки, методів математичного аналізу, чисельних методів апроксимації функцій, методів електричних вимірювань.

Основні теоретичні висновки підтверджено експериментальними дослідженнями на створеному лабораторному макеті резонансного дефектоскопу.

Можна стверджувати, що вихідні положення дисертації є коректними, одержані результати логічно та математично аргументовані. Результати теоретичних досліджень показали працездатність і впроваджені в виробництво на підприємствах України, про що свідчать акти впровадження.

**Повнота викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.** Результати дисертаційної роботи опубліковано в 25 друкованих працях, серед яких монографія, 8 статей в фахових виданнях України та 2 статті у закордонних виданнях, 2 патенти України на корисну модель. Аналіз показав, що основні результати дисертації достатньо повно викладені в наукових фахових виданнях.

Основні результати роботи доповідалися й обговорювалися на дванадцяти науково-технічних конференціях, найбільш значні з яких ХХ-й науковий симпозіум «Метрологія и метрологічне забезпечення», (Болгарія, Созопіль, 2011 р.); VI-а Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», (Івано-Франківськ, 2011 р.); V-а Міжнародна науково-практична конференція «Спеціальна техніка в правоохоронній діяльності», (Київ, 2011 р.).

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено у виробництво на підприємствах ДНВП «Об'єднання Комунар» (м. Харків) та Державного приладобудівного заводу ім. Т. Г. Шевченко «Моноліт ХГПО» (м. Харків), в навчальний процес кафедри приладів і методів неруйнівного контролю НТУ «ХПІ», в навчальний процес кафедри проектування і експлуатації електронних апаратів ХНУРЕ.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин за напрямком "Прилади неруйнівного контролю матеріалів і виробів".

Зміст автореферату є ідентичним основним положенням дисертації.

**Зміст дисертації і основні результати роботи.** Дисертація складається-

ся із вступу, 5-х розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 196 сторінок, з них: 42 рисунки по тексту, 8 рисунків на 6 окремих сторінках, 2 таблиці по тексту, список використаних джерел з 190 найменувань на 22 сторінках, 7 додатків на 23 сторінках.

У **вступі** міститься обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів й інші дані, що регламентовані встановленими вимогами до структури дисертації.

У **першому розділі** виконано аналіз методів і засобів вихрострумowego контролю матеріалів і виробів. Узагальнено накопичений в даному напрямку науки і техніки національний та світовий досвід. Проаналізовано відомі методи і засоби вихрострумowego контролю виробів і матеріалів, які дають можливість підвищити ефективність вихрострумової дефектоскопії. Дана характеристика загальних принципів побудови вихрострумowych дефектоскопів.

На підставі аналізу науково-технічної та патентної літератури, узагальнень досліджень за вибраним напрямком, визначено основні невирішені задачі та обґрунтовано напрямок дисертаційних досліджень.

**Другий розділ** присвячено виявленню дефектів структури тонких ферромагнітних плівок за допомогою аперіодичних вихрострумowych перетворювачів. Показано, що опір навантаження та внутрішній опір джерела живлення значною мірою впливають на модуль і фазу вхідного струму і напруги. Ступінь цього впливу певним чином залежить від вказаних факторів, ігнорування цієї обставини призводить до деякої розбіжності розрахункових та експериментальних даних. Проведений аналіз отриманих чисельних даних дозволяє зробити висновок про те, що для даного варіанту схеми фазовий метод виділення корисної інформації значно переважає амплітудний метод.

У **третьому розділі** наведено теоретичне визначення характеристик резонансних ВСП. Відзначено, що аналіз роботи та інженерний підхід до розрахунку резонансних ВСП, які застосовуються для виявлення дефектів структури тонких ферромагнітних плівок, потребує подальшого удосконалення. Перспективною є задача адекватного доопрацювання фізико-математичних моделей ВСП, одна з котушок яких включена в коливальний ланцюг, та удо-

сконалення смугового варіанту ВСП, обидві котушки якого становлять пов'язані коливальні контури.

Проаналізовано різні режими роботи ВСП з урахуванням внутрішнього опору джерела живлення і опору навантаження, способи підключення ВСП до джерела і т.п. Проведено аналіз характеристик, наведено порівняльну оцінку та рекомендації для схемних рішень і параметрів ВСП. Отримані основні залежності та аналітичні вирази для характеристик перетворення доведено до вигляду, який є зручним для інженерних розрахунків. Доведено, що: при використанні аперіодичних ВСП доцільно застосовувати фазовий метод виявлення дефектів структури тонких феромагнітних плівок; при використанні резонансних ВПТ ефективніше застосовувати амплітудний метод виявлення дефектів структури; для виявлення дефектів структури оптимальна частота струму збудження в резонансних ВСП в порівнянні з аперіодичними має бути на порядки нижче; максимальна чутливість резонансного ВСП в рази більше ніж у аперіодичного ВСП.

У **четвертому розділі** встановлено, що збільшення зазору при контролі призводить до ослаблення зв'язку між котушкою ВСП і тонкою феромагнітною плівкою із відповідним однаковим зменшенням як активної, так і реактивної складових імпедансу. Також показана багатопараметрова залежність метрологічних показників ВСП від нестабільності параметрів тонких плівок, тобто зміни питомої електропровідності, наявності пористості структури тонких феромагнітних плівок, характеру дефектів і тощо. Встановлено методи компенсації від впливу робочого зазору резонансних ВСП, які найбільш часто застосовуються в дефектоскопах. Показано, що більш простими резонансними вихрострумівими приладами з точки зору можливостей компенсації впливу зміни робочого зазору є такі, які працюють в режимі розладнаного контуру.

У **п'ятому розділі** наведено результати розробки методу контролю несутцільності, пористості тонких феромагнітних плівок та експериментальне підтвердження теоретичних положень досліджень. Показано, що на високих частотах смуговий трансформаторний ВСП, який має котушки індуктивності циліндричної форми, здатний виявляти недосконалість структури тонких не-

ферромагнітних плівок. Створено лабораторний макет резонансного дефектоскопу для контролю тонких неферромагнітних плівок, на якому перевірялася відповідність теоретичних положень і експериментальних досліджень роботи.

У загальних висновках по дисертації відображені досягнуті результати, що отримані під час виконання науково-дослідної роботи в об'ємі дисертації.

**Оформлення дисертаційної роботи.** Матеріал роботи викладено послідовно, логічно, грамотно, з використанням загальноприйнятої термінології та з дотриманням сучасних правил подання наукової інформації. Дисертацію та автореферат оформлено згідно з вимогами до оформлення науково-технічної документації. Результати дослідження в достатній мірі проілюстровані графічним матеріалом.

**У якості зауважень до дисертації необхідно відмітити:**

1. При аналізі стану досліджуваної задачі не взято до уваги, на мій погляд, фундаментальне джерело, присвячене саме розглянутим питанням, яким є монографія Гавриліна В.В. "Неразрушаючий контроль параметрів тонких проводящих плінок електромагнітними методами", Рига: Зинатне, 1991, 206с., ознайомлення з яким дозволило би уникнути деяких недоліків дисертації;

2. В першому розділі дисертації відсутні відомості щодо огляду відомих фізико-математичних моделей процесів взаємодії "плівка - вихрострумний перетворювач" з аналізом притаманних їм недоліків, що не дозволило здобувачу обґрунтовано довести необхідність їх удосконалення;

3. В структурі дисертації, яка присвячена резонансним методам контролю, на мій погляд, недоречним є розділ 2, що розглядає виявлення дефектів структури тонких неферромагнітних плівок за допомогою аперіодичних вихрострумних перетворювачів. Вважаю, що його доцільно було би об'єднати з розділом 3, де в порівнянні треба було показати переваги резонансних перетворювачів;

4. В роботі кількісно не показано ступінь впливу на результати вимірювань вихрострумними перетворювачами в процесі контролю плівок урахування таких факторів як внутрішній опір джерела живлення і опір навантаження, що складає основу теоретичної частини роботи;

5. Запропоновані математичні моделі не враховують аномальної залежності питомої електропровідності від структури плівки, тобто її нестабільно-

сті та невизначеності;

6. Недоречною і помилковою також, на мою думку, є наявність у розділі 5 дисертації, присвяченому експериментальним дослідженням, теоретичного матеріалу, основанийого на вирішенні рівняння Гельмгольца для векторного потенціалу, де для отримання його розв'язку використовуються класичні граничні умови адекватні для однорідних металевих плоско-паралельних шарів, які застосовувати для випадку плівок не можна із-за невизначеності границь розділу областей та, як наслідок, специфічної поведінки електромагнітного поля при його поширенні.

**Загальний висновок по дисертації.** З урахування вищенаведеного, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Світличного Віталія Анатолійовича «Резонансна вихрострумова дефектоскопія тонких неферромагнітних плівок» є завершеним науковим дослідженням. В роботі отримано нові науково-обгрунтовані результати, які в сукупності вирішують важливу для народного господарства України та складну науково-прикладну задачу підвищення ефективності резонансної вихрострумової дефектоскопії шляхом удосконалення контролю структури тонких неферромагнітних плівок на діелектричній основі.

Робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а її здобувач, Світличний В.А., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Професор кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні Черкаського державного технологічного університету,  
доктор технічних наук, професор

В. Я. Гальченко

Підпис Гальченко В.Я.  
засвідчую  
Відділ кадрів

9.11.2015р.