

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Буссі Салам

на тему: "Електромагнітно-акустичні перетворювачі для ультразвукового контролю металовиробів", що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

зі спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин

Ступінь актуальності теми дисертаційної роботи

Актуальність роботи пов'язана з тим, що Україна є однією з провідних країн світу з виробництва металопрокату. При цьому вимоги до якості металопродукції постійно підвищуються. Одним з методів забезпечення високої якості є неруйнівний контроль, і в першу чергу – ультразвуковий. Традиційний контактний ультразвуковий контроль вимагає зачистки поверхні об'єкту контролю (ОК) від бруду, іржі, окалини тощо.

Усунути недоліки контактного УЗК можливо за рахунок використання електромагнітно-акустичного (ЕМА) способу збудження і прийому УЗ імпульсів. При його використанні не потрібна спеціальна підготовка поверхні металовиробу, контроль може здійснюватися через шар фарби або пластика, швидкість сканування виробу може багаторазово перевищувати аналогічний показник контактного методу контролю. Однак, вважається, що ЕМА метод контролю має недостатню чутливість, що не дозволяє використовувати його для ефективної дефектоскопії, товщинометрії і визначення фізико-механічних характеристик ОК з феромагнітних матеріалів. Проте відомо, що ЕМА метод має високу економічну ефективність контролю ОК, особливо феромагнітних.

Однак рівень складності і різноманіття проблем, що вирішуються при дослідженнях і створенні засобів контролю і діагностики на базі ЕМА перетворювачів, виявився настільки високим, а перспективи, що відкриваються при цьому, настільки значними, що результати, досягнуті в минулому в цій області, не можуть бути достатніми.

Актуальність теми та вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що вона виконувалась в межах науково-дослідної тематики кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет» згідно Закону України № 3715-VI від 05.12.2012 «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», зокрема за напрямом «Приладобудування, як основа високотехнологічного оновлення всіх галузей виробництва». Здобувач, як виконавець прийняв участь в науково-дослідній держбюджетній темі МОН України «Дослідження можливості створення прототипів приладів неруйнівного контролю нового покоління з використанням енерго- та ресурсозберігаючих технологій» (ДР № 0111U002280), в якій здобувач була виконавцем окремих етапів. Тому тема дисертаційної роботи здобувача є актуальною.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується коректністю постановки мети і задач дослідження, чіткою постановкою задач, визначенням достатніх граничних умов та допустимих обмежень, коректним застосуванням математичного моделювання магнітних полів джерел формування поляризуючого магнітного поля, коректністю реалізації алгоритмів ультразвукового контролю з використанням імпульсних поляризуючих магнітних полів, а також порівнянням та збігом отриманих експериментальних результатів з відомими в опублікованій літературі.

Наукова новизна отриманих результатів

На основі вивчення матеріалів дисертації та автореферату наукову новизну роботи можна сформулювати наступним чином.

1. Вперше сформульовано концепцію побудови ЕМАП з імпульсним джерелом поляризуючого магнітного поля, в якому котушки індуктивності джерела магнітного поля в складі ЕМАП повинні бути плоскими двохвіконними та виготовленими з цільної пластини високоелектропровідного і теплопровідного матеріалу і бути трьохвитковими, при цьому вони повинні використовуватися разом з високочастотними котушками індуктивності з двома лінійними робочими ділянками, вікна котушок індуктивності джерела магнітного поля повинні розташовуватися над робочими ділянками високочастотної котушки індуктивності, що забезпечує збільшення потужності збуджуваних зсувних ультразвукових імпульсів нормально поверхні металовиробу.

2. Удосконалено метод ультразвукового електромагнітно-акустичного контролю металовиробів, суть якого полягає в збудженні ультразвукових імпульсів шляхом формування в поверхневому шарі феромагнітного виробу двох рядом розташованих короткочасно намагнічених ділянок з протилежним напрямком векторів магнітної індукції поляризуючого поля, збудженні в намагнічених ділянках пакетних імпульсів електромагнітного поля з протилежно направленими векторами напруженості тривалістю у кілька періодів високої частоти заповнення, при цьому збудження імпульсів електромагнітного поля виконують в момент часу, який дорівнює часу перехідних процесів з встановлення робочої величини індукції поляризуючого магнітного поля, а прийом ультразвукових імпульсів відбитих з виробу виконується в період часу t_{np} , який визначається за виразом $T - t_1 - t_2 - t_3 < t_{np} = t_1 + t_2 + t_3 + 2H/C$, де T – тривалість імпульсу намагнічування; t_1 – час перехідних процесів з встановлення робочої величини індукції поляризуючого магнітного поля; t_2 – час дії пакетного імпульсу електромагнітного поля; t_3 – час затухаючих коливань в плоскій високочастотній котушці індуктивності; H – товщина виробу або відстань в об'ємі виробу, які підлягають ультразвуковому контролю; C – швидкість розповсюдження зсувних ультразвукових хвиль в матеріалі виробу, що забезпечило високу ефективність збудження та прийому зсувних пакетних ультразвукових імпульсів.

Практична цінність дисертаційної роботи.

- Розроблена методика виготовлення стійких до пошкоджень плоских витягнутих високочастотних котушок з двома робочими ділянками провідників з необхідною кількістю витків.

- Розроблено макет генератора потужних високочастотних пакетних імпульсів струму для живлення ЕМАП з піковим струмом в ЕМАП до 120 А.

- Розроблено попередній малозавадний смуговий підсилювач прийнятих ультразвукових імпульсів.

- Розроблено макет блоку живлення імпульсного магніту ЕМАП з максимальним струмом 600 А в котушці намагнічування.

- Розроблено прямий ЕМАП для збудження і прийому ультразвукових зсувних пакетних імпульсів.

- Встановлено, що ЕМАП, генератор зондуючих високочастотних імпульсів, що живить перетворювач, та попередній підсилювач повинні складати узгоджені між собою частини.

Розробки захищені 2 патентами на корисну модель.

Результати досліджень, що отримані при виконання дисертаційної роботи, впроваджені в ДП «Завод Електроважмаш» (акт впровадження від 23.10.2019 р.), в Компанії УКРІНТЕХ (акт впровадження від 08.10.2019 р.) та в навчальний процес Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (акт впровадження від 03.09.2019 р.).

Повнота викладу результатів в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації

Основний зміст, наукові положення та результати дисертації в повній мірі опубліковано в 13 наукових працях, серед них: 6 статей у фахових виданнях, з яких 2 статті у фаховому виданні, що включено до НМБ Web of Science Core Collection, та 7 тез доповідей на науково-технічних конференціях. Розробки захищені 2 патентами на корисну модель.

Структура, оцінка мови, стилю та оформлення дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел інформації і додатків. Повний об'єм дисертації складає 158 сторінок, з них: 86 рисунків та 4 таблиці по тексту; список використаних джерел з 147 найменувань на 17 сторінках; 2 додатки на 6 сторінках. Кожен розділ має чітку та завершену структуру.

У *вступі* обґрунтовано актуальність та доцільність дисертаційного дослідження, сформульовано його мету і задачі, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження. Також показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, оцінено особистий вклад здобувача, наведено інформацію щодо апробації результатів дисертації, публікацій здобувача, структури та обсягу дисертації.

У *розділі 1* дисертаційної роботи проведено аналіз інформаційних джерел за напрямком дисертаційного дослідження. За результатами аналізу сформульовано недоліки, притаманні відомим методам і системам, та визначено

фактори, що впливають на результати визначення якості виробів. Сформульовані основні напрямки дисертаційного дослідження.

У розділі 2. У другому розділі шляхом математичного моделювання встановлено, що магнітний потік, який проходить через сердечник і ОК, намагнічує сердечник джерела імпульсного магнітного поля близько до насичення в районі торця осердя. Подальше збільшення величини створюваної індукції магнітного поля можливе тільки за рахунок підвищення струму в котушці індуктивності джерела магнітного поля або за рахунок збільшення кількості витків котушки намагнічування при однаковому струмі намагнічування, що недоцільно. Встановлено, що нормальна компонента магнітної індукції на поверхні феромагнітного виробу (наприклад, маловуглецевої сталі) за рахунок намагніченості самого ОК значно перевищує аналогічну величину для взірця з алюмінію майже в 2 рази. Встановлено, що високочастотні котушки індуктивності ЕМАП при контролі феромагнітних і не феромагнітних металовиробів повинні відрізнятися як розмірами, так і розташуванням відносно осердя джерела імпульсного поляризованого поля. Розрахунками доказано, що при використанні багатовиткових котушок індуктивності джерела магнітного поля з феромагнітними сердечниками, збудження і прийом ультразвукових імпульсів в неферомагнітних ОК можливий лише через 300...600 мкс після подачі живлення на джерело магнітного поля, що веде до значних енергетичних втрат. Показано, що для ОК з маловуглецевої сталі та аналогічних виробів, збудження та прийом ультразвукових імпульсів можливо не раніше 300–400 мкс після подачі живлення на джерело імпульсного магнітного поля. Встановлена необхідність виконання експериментальних досліджень та розробок нових технологічних рішень для джерел імпульсного магнітного поля, направлених на зменшення часу дії перехідних процесів при включенні імпульсу намагнічування і, відповідно, зменшення енерговитрат на виконання ЕМА контролю.

У розділі 3 наведено наступні результати. Розроблено метод ультразвукового електромагнітно-акустичного контролю феромагнітних виробів, сутність якого заключається в збудженні ультразвукових імпульсів шляхом формування в поверхневому шарі феромагнітного виробу двох рядом розташованих короткочасно намагнічених ділянок з протилежним напрямком векторів магнітної індукції поляризованого поля, збудженні в намагнічених ділянках пакетних імпульсів електромагнітного поля з протилежно направленими векторами напруженості тривалістю в кілька періодів високої частоти заповнення, при цьому збудження імпульсів електромагнітного поля виконують в момент часу, який дорівнює часу перехідних процесів з встановлення робочої величини індукції поляризованого магнітного поля, а прийом ультразвукових імпульсів, відбитих з виробу, виконується в період часу $t_{пр}$, який визначається за виразом $T - t_1 - t_2 - t_3 < t_{пр} = t_1 + t_2 + t_3 + 2H/C$, де T – тривалість імпульсу намагнічування; t_1 – час перехідних процесів з встановлення робочої величини індукції поляризованого магнітного поля; t_2 – час дії пакетного імпульсу електромагнітного поля; t_3 – час затухаючих коливань в плоскій високочастотній котушці індуктивності; H – товщина виробу або відстань в

об'ємі виробу, які підлягають ультразвуковому контролю; C – швидкість розповсюдження зсувних ультразвукових хвиль в матеріалі виробу.

Встановлено, що перешкоди в феромагнітному осерді, обумовлені ефектом Баркгаузена та магнітострикційним перетворенням електромагнітної енергії в ультразвукову при збудженні ультразвукових імпульсів, практично виключаються за рахунок виготовлення осердя шихтованим, матеріал пластин осердя повинен мати низький коефіцієнт магнітострикційного перетворення, пластини осердя повинні бути орієнтовані перпендикулярно провідникам робочих ділянок плоскої високочастотної котушки індуктивності, а також заповнення щілин між пластинами осердя рідиною із значною густиною, наприклад, гліцерином. На підставі аналізу результатів виконаних досліджень сформульовано вимоги щодо створення ЕМАП з імпульсним намагнічуванням. Котушки індуктивності джерела магнітного поля в складі ЕМАП повинні бути плоскими двохвіконними та виготовлені з цілої пластини високоелектропровідного і теплопровідного матеріалу і бути трьохвитковими. Вони повинні використовуватися разом з високочастотними котушками індуктивності з двома лінійними робочими ділянками. Вікна котушок індуктивності джерела магнітного поля повинні розташовуватися над робочими ділянками високочастотної котушки індуктивності. Необхідно також використовувати феромагнітне шихтоване П-подібне осердя. Встановлено, що прямі ЕМАП з плоскими котушками намагнічування та феромагнітним осердям можуть забезпечити ультразвуковий безконтактний контроль феромагнітних виробів тіншовим, дзеркально-тіншовим та луна-методами з чутливістю, близькою до традиційних п'єзоелектричних перетворювачів при умові жорсткого їх поєднання з генератором зондуючих пакетних імпульсів та з підсилювачем прийнятих ультразвукових сигналів в єдиний комплекс. Показано, що чутливість прямих ЕМА перетворювачів з імпульсним намагнічуванням забезпечують виявлення плоскодонних відбивачів діаметром 3 мм і більше при частоті зондування 40 Гц, частоті зсувних лінійно поляризованих ультразвукових коливань 2,3 МГц, тривалості імпульсу намагнічування 200 мкс, струму намагнічування 600 А та при зазорі між ЕМАП і виробом 0,2 мм. Для використання в складі ЕМАП плоскої одношарової високочастотної котушки індуктивності розроблена методика її виготовлення з 2 робочими ділянками прямих провідників з встановленою кількістю витків.

У розділі 4. Розроблено макет блоку з жорстко пов'язаних між собою пристроїв, які можуть забезпечити проведення контролю та діагностики в складі дефектоскопів та вимірювачів товщини. Для розробленого макету блоку:

- Вдосконалено електричну схему і конструкцію ЕМАП.
- Розроблено потужний генератор зондуючих високочастотних пакетних імпульсів струму для живлення ЕМА перетворювачів.
- Розроблено пристрій для пригнічення перешкоди, що виникає після виключення пакетного імпульсу струму живлення ЕМАП.
- Розроблено смуговий малоперешкодний підсилювач прийнятих з ОК ультразвукових імпульсів.

- Удосконалено генератор живлення плоскої котушки індуктивності для збудження імпульсного поляризованого магнітного поля.

Виконаними експериментальними дослідженнями показано, що для високоефективного застосування розробленого електромагнітно-акустичного блоку при виявленні внутрішніх дефектів необхідно використовувати прямі ЕМАП з заданою частотною смугою пропускання, які повинні живитись пакетними імпульсами високочастотного струму з частотою, близькою до його центральної смуги частоти пропускання в режимах і збудження і прийому ультразвукових імпульсів. При цьому тривалістю збуджуваного імпульсу повинна бути 6–7 періодів високої частоти заповнення пакету під час дії імпульсів струму намагнічування тривалістю до 200 мкс.

Експериментально встановлено, що при використанні ЕМАП з імпульсним намагнічуванням феромагнітного взірця при використанні луна методу контролю, можливо виявляти моделі дефектів у вигляді плоскодонних відбивачів діаметром від 3 мм і більше.

У висновках узагальнено отримані в дисертації наукові та практичні результати.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації та акти впровадження результатів роботи.

Дисертацію та автореферат написано грамотною українською мовою. Використана в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних та експериментальних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує їх доступне сприйняття та застосування.

Дисертаційна робота Буссі Салам є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка виконана здобувачем особисто.

Ознак порушення академічної доброчесності не виявлено.

До недоліків дисертаційної роботи можна віднести наступне:

1. В розділі 1 дисертації основний матеріал стосується переважно теоретичним питання ЕМА перетворення та конструкціям ЕМАП. Проте в тексті роботи наведено дані про розробку генераторів та попередніх посилювачів прийнятих ультразвукових імпульсів, що, на мій погляд, недостатньо висвітлено в огляді.

2. В назві роботи говориться про електромагнітно-акустичні перетворювачі, в матеріалах дисертації наведено дані про розробку генераторів та посилювачів прийнятих ультразвукових імпульсів. Навіщо це було зроблено?

3. На рисунках 2 та 3 автореферату важко розрізнити позначення на наведених залежностях.

4. В авторефераті в списку літератури № 8 і №9 не наведено вклад здобувача в наведених результатах.

5. В тексті роботи зустрічаються окремі граматичні та стилістичні помилки. Наприклад: на рис.4.15 дисертації назва осі ординат - «струм споживання» а у підписуночному підпису говориться про середній струм споживання генератора; на сторінці 126 роботи в другому абзаці написано «Значення внутрішнього опору цього елемента становить 6 мОм, а допустима імпульсна густина струму досягає 600 А/мм²». Незрозуміло до якого об'єкту це відноситься?

По тексту «густина струму» повинна писатися «щільність струму» тощо.

Наведені недоліки не стосуються принципових положень дисертації.

Висновок. На основі проведеного аналізу та детального вивчення винесених на захист результатів вважаю, що дисертаційна робота Буссі Салам "Електромагнітно – акустичні перетворювачі для ультразвукового контролю металовиробів", що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин є завершеним науковим дослідженням та за актуальністю розглянутих задач, новизною і практичною цінністю результатів, високим рівнем проведених досліджень, експериментів та практичних розробок відповідає вимогам п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, та паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин, а її автор, Буссі Салам, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент:

В. о. завідувача кафедри «Проектування та експлуатація електронних апаратів» Харківського національного університету радіоелектроніки проф., канд.. техн.. наук

Юрій ХОРОШАЙЛО



21.09.2022

Підпис проф. Хорошайло Ю.Є.

засвідчую

її проректор ХНУРЕ

Д.т.н. проф. Рубан І.В.

