



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 113001

(13) C2

(51) МПК

G01N 27/90 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2014 10597

(22) Дата подання заявки: 29.09.2014

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: 25.11.2016

(41) Публікація відомостей
про заяву: 26.10.2015, Бюл.№ 20

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 25.11.2016, Бюл.№ 22

(72) Винахідник(и):

Тетерко Анатолій Якович (UA),
Луценко Геннадій Геннадійович (UA),
Учанін Валентин Миколайович (UA),
Тетерко Олександр Анатолійович (UA)

(73) Власник(и):

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В.
КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ,
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79601 (UA),
ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
ІНСТИТУТ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ",
вул. Набережно-Лугова, 8, м. Київ, 04071
(UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

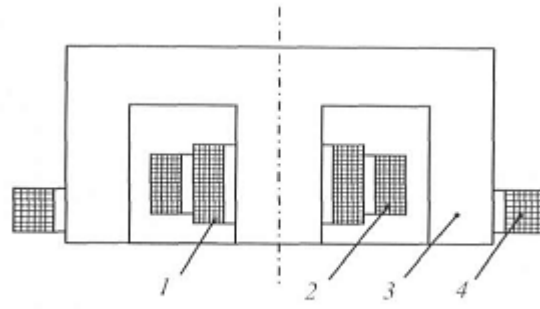
UA 102446 C2, 10.07.2013,
UA 103657 C2, 11.11.2013,
BY 9846 C1, 30.10.2007,
RU 2025724 C1, 30.12.1994,
RU 2073234 C1, 10.02.1997,
WO 93/15396 A1, 05.08.1993,
DE 19523519 A1, 02.01.1997,
FR 2699638 A1, 08.10.1993,
GB 2262346 A, 16.6.1993,

(54) ВИХОРОСТРУМОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ БАГАТОПАРАМЕТРОВОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

(57) Реферат:

Винахід належить до вихорострумів засобів неруйнівного контролю виробів із електропровідних матеріалів і може знайти застосування в апаратурі та спеціалізованих приладах вихорострумів контролю для селективних багатопараметрових вимірювань питомої електропровідності матеріалу, товщини оболонок, товщини різного виду покриття тощо при діагностуванні ступеня пошкодження елементів конструкцій через деградацію матеріалу, корозію та інші чинники під час експлуатації в авіації, енергетиці на транспорті тощо, а також для контролю якості продукції у виробництві. Вихорострумів перетворювач для багатопараметрового контролю матеріалів і виробів побудований на феритовому циліндричної форми півосерді типу Р (напівброньове осердя), що містить розташовані всередині півосердя обмотку збудження вихрових струмів і вимірювальну обмотку сигналу відгуку, до якого додатково введена зовнішня вимірювальна обмотка. Зовнішню вимірювальну обмотку розміщено зовні на торці циліндричного півосердя типу Р. Технічним результатом винаходу є підвищення точності селективних вимірювань заданих параметрів контрольованого об'єкта.

UA 113001 C2



Фиг. 1

Винахід належить до вихорострумових засобів неруйнівного контролю виробів із електропровідних матеріалів і призначений, зокрема, для селективних багатопараметрових вимірювань питомої електропровідності матеріалу, товщини оболонок, покриття та ін. елементів конструкцій в авіації, машинобудуванні, енергетиці, на транспорті тощо.

Відомі засоби вихорострумового контролю електропровідності матеріалу або товщини оболонок та покриттів, у яких вимірювання значень одного із зазначених вище параметрів реалізують на основі перетворень двовимірного сигналу відгуку, сформованого вимірювальною обмоткою вихорострумового перетворювача. При цьому використовують накладні вихорострумові перетворювачі трансформаторного типу, в яких обмотка збудження вихрових струмів у контрольованому об'єкті і вимірювальна обмотка розміщені на феритовому осердді або без осердя [1].

В сучасний вихорострумовий апаратурі для контролю питомої електропровідності матеріалу або товщини в основному використовують вихорострумовий перетворювач з обмотками на циліндричному феритовому осердді, в якому додатково введено компенсаційну обмотку, підключену послідовно з вимірювальною обмоткою [1]. Недоліком такого перетворювача є суттєвий вплив зміни зазору між перетворювачем і поверхнею контрольованого об'єкта під час контролю на сигнал відгуку, що зумовлює значну похибку оцінки значення контрольованого параметра.

Для одночасних вимірювань питомої електропровідності матеріалу і товщини оболонок із повним відстроюванням від впливу зазору за одночасного зменшення до десятих часток відсотка похибки контролю останнім часом розроблено ефективні способи нелінійної обробки багатовимірного сигналу відгуку вихорострумового перетворювача [2, 3]. Зокрема, багатовимірний сигнал відгуку в [2] формують вихорострумовим перетворювачем, що містить дві обмотки збудження різного діаметра, які живлять окремо струмом різної частоти, і вимірювальну обмотку, діаметр якої менший від діаметрів обмоток збудження. Всі обмотки розміщені коаксіально. При цьому сигнал відгуку з вимірювальної обмотки є двочастотним, ортогональні складові якого на кожній з частот використовують для нелінійної обробки цього багатовимірного відгуку.

Недоліком такого перетворювача є широка зона чутливості, яка є більшою від діаметрів обмоток збудження, а також неможливість використання феритового осердя як концентратора магнітного потоку, що загалом зумовлює зменшення чутливості до контрольованих параметрів.

Відомий вихорострумовий перетворювач, в якому обмотка збудження і вимірювальна обмотка розташовані всередині феритового циліндричної форми півосердя типу Р [1]. Таке осердя в літературі, зокрема в [1], називають "напівброньовим". Недоліком такого вихорострумового перетворювача є можливість використання тільки однієї вимірювальної обмотки, що формує двовимірний сигнал відгуку, за яким вирішують задачі контролю питомої електропровідності матеріалу або товщини стінки контрольованого об'єкта.

Задачею запропонованого вихорострумового перетворювача є формування багатовимірного сигналу відгуку перетворювача, а також підвищення чутливості до контрольованих параметрів, з метою його ефективного використання у засобах селективного багатопараметрового контролю, а саме: вимірювання значень двох, трьох, чотирьох і більшої кількості параметрів за їх одночасного впливу на сигнал відгуку.

Поставлена задача вирішується тим, що до вихорострумового перетворювача, що містить обмотку збудження і вимірювальну обмотку, які розташовані всередині феритового циліндричної форми півосердя типу Р, додатково введено другу вимірювальну обмотку, яку розташовано зовні на торці феритового півосердя типу Р. Зазначені вимірювальні обмотки такого вихорострумового перетворювача означимо далі як внутрішня вимірювальна обмотка і зовнішня вимірювальна обмотка. В процесі взаємодії з контрольованим об'єктом на виходах вимірювальних обмоток вихорострумового перетворювача формуються лінійно незалежні сигнали відгуку, ортогональні складові яких (або модуль і фаза сигналів) є характеристиками багатовимірного сигналу відгуку первинного перетворювача. При цьому на одній частоті збудження багатовимірний сигнал відгуку первинного перетворювача є чотиривимірним, тобто описується чотирма характеристиками. Це забезпечує, зокрема, селективне вимірювання таких трьох параметрів, як питома електропровідність матеріалу, товщина оболонок і товщина діелектричного покриття або зазору між вихорострумовим перетворювачем і поверхнею контрольованого об'єкта.

Кількість характеристик (тобто розмірність) багатовимірного сигналу відгуку збільшуємо шляхом живлення обмотки збудження вихрових струмів у контрольованому об'єкті щонайменше на двох частотах. Це дозволяє збільшувати кількість параметрів об'єкта, які контролюють, а

також покращувати точність контролю за результатами обробки багатовимірною сигналу відгуку запропонованого вихорострумівного перетворювача.

Суть винаходу пояснюється кресленнями.

На Фіг. 1 зображено у перерізі структуру запропонованого вихорострумівного перетворювача з обмотками на циліндричній формі феритового півосердя типу Р.

На Фіг. 2 зображено у комплексній площині внесеної напруги зовнішньої вимірювальної обмотки ($\text{Re } u_{\text{зовн.}}$, $\text{Im } u_{\text{зовн.}}$) фрагмент області сім'ї годографів сигналу відгуку вихорострумівного перетворювача при зміні питомої електропровідності матеріалу σ і зазору h між вихорострумівним перетворювачем і поверхнею зразка матеріалу.

На Фіг. 3 зображено у комплексній площині внесеної напруги внутрішньої вимірювальної обмотки ($\text{Re } u_{\text{внутр.}}$, $\text{Im } u_{\text{внутр.}}$) фрагмент області сім'ї годографів сигналу відгуку вихорострумівного перетворювача при зміні питомої електропровідності матеріалу σ і зазору h між вихорострумівним перетворювачем і поверхнею зразка матеріалу.

Вихорострумівний перетворювач, що пропонується, реалізують за структурою, зображеною на Фіг. 1. Тут обмотка збудження 1 і внутрішня вимірювальна обмотка 2 розміщені всередині феритового півосердя 3 типу Р, яке в технічній літературі означається як "броньове" або "напівброньове". Осердя цього типу має циліндричну форму і виготовляється різного діаметра. Зовнішня вимірювальна обмотка 4, яку введено додатково, розміщується зовні по торцю феритового півосердя типу Р.

Розглянемо особливості годографів сигналу відгуку вихорострумівного перетворювача при зміні питомої електропровідності матеріалу σ і зазору h між вихорострумівним перетворювачем і поверхнею зразка матеріалу, одержані при вимірюванні зовнішньою вимірювальною обмоткою 4 (Фіг. 2) і внутрішньою вимірювальною обмоткою 2 (Фіг. 3), на прикладі контролю титанових сплавів. Отримані результати поширюються на інші електропровідні матеріали та інші параметри контрольованого об'єкта.

Вимірювання, за результатами яких побудовано зазначені годографи, виконані на комплекті з 12-ти зразків титанових сплавів із питомою електропровідністю у діапазоні від $\sigma_{\text{min.}}=0,54$ МСм/м до $\sigma_{\text{max.}}=2,05$ МСм/м, виготовленому Всеросійським інститутом легких сплавів. Зазор h між вихорострумівним перетворювачем і поверхнею зразка встановлювали з використанням діелектричних прокладок у діапазоні від умовного значення "0" мм до 1,0 мм. Для вимірювань застосовано вихорострумівний перетворювач на феритовому півосерді типу Р (Фіг. 2) із зовнішнім діаметром $D_{\text{зовн.}}=20$ мм, обмотку збудження 1, якого живили струмом частотою 30 кГц.

На Фіг. 2 і Фіг. 3 сім'ю годографів при зміні питомої електропровідності матеріалу σ і постійних значеннях зазору $h=$ "0" мм; 0,4 мм; 1,0 мм зображено суцільними лініями, а сім'ю годографів при зміні зазору h і постійних значеннях питомої електропровідності $\sigma=0,54$; 0,89; 2,05 [МСм/м] зображено пунктирними лініями. При цьому для зручності порівняння довжину годографів при зміні питомої електропровідності матеріалу σ і значенні зазору $h=$ "0" мм на Фіг. 2 і Фіг. 3 зображено однаковою.

Як можна оцінити з поданих залежностей за довжиною відповідних годографів, чутливість сигналу відгуку зовнішньої вимірювальної обмотки 4 вихорострумівного перетворювача до зміни питомої електропровідності матеріалу σ в діапазоні зміни зазору "0" мм - 1,0 мм змінюється мало і становить $\approx 1,2$ рази. Відповідна зміна чутливості сигналу відгуку внутрішньої вимірювальної обмотки 2 є значною і становить до 2,2 рази

Подібно чутливість сигналу відгуку зовнішньої вимірювальної обмотки 4 вихорострумівного перетворювача до зміни зазору в діапазоні зміни питомої електропровідності матеріалу $\sigma_{\text{min.}} \dots \sigma_{\text{max.}}$ є малою і становить $\approx 1,1$ разу, а відповідна зміна чутливості сигналу відгуку внутрішньої вимірювальної обмотки 2 становить до ≈ 2 разів.

Таким чином, чутливість сигналу відгуку зовнішньої вимірювальної обмотки 4 вихорострумівного перетворювача до зміни питомої електропровідності матеріалу σ і зазору h у заданій області їх зміни змінюється мало. Зазначена особливість характеризує важливу перевагу відбору сигналу відгуку зовнішньою вимірювальною обмоткою 4 запропонованого вихорострумівного перетворювача. Зокрема, це стосується використання сигналу відгуку зовнішньої вимірювальної обмотки 4 при реалізації відомих способів двопараметрового контролю питомої електропровідності матеріалу та / чи товщини стінки оболонки із відстроюванням від впливу зазору.

Разом із цим чутливість сигналу відгуку внутрішньої вимірювальної обмотки 2 вихорострумівного перетворювача до зміни питомої електропровідності матеріалу σ зі змінною зазору суттєво зменшується, а чутливість сигналу відгуку до зміни зазору при зміні питомої електропровідності матеріалу навпаки суттєво зростає.

Встановлений характер зміни чутливості до параметрів, що впливають на формування сигналів відгуку вихорострумowego перетворювача зовнішньою вимірювальною обмоткою 4 і внутрішньою вимірювальною обмоткою 2, зумовлює лінійну незалежність сигналів відгуку зазначених вимірювальних обмоток. Загалом це означає, що коефіцієнти (характеризують чутливість по параметрах) функцій, якими можна відобразити багатовимірний сигнал відгуку зазначених вимірювальних обмоток, будуть лінійно незалежними, що задовольняє необхідній умові селективних вимірювань параметрів контрольованих об'єктів.

Багатовимірний сигнал відгуку запропонованого вихорострумowego перетворювача отримують, зокрема, на основі ортогональних складових сигналів відгуку зовнішньої вимірювальної обмотки 4 і внутрішньої вимірювальної обмотки 2. Таким чином, при живленні обмотки збудження 1 вихорострумowego перетворювача струмом однієї частоти вектор характеристик сигналу відгуку є чотиривимірним і може бути зображений у наступному виді:

$$y = (\operatorname{Re} u_{\text{зовн.}}, \operatorname{Im} u_{\text{зовн.}}, \operatorname{Re} u_{\text{внутр.}}, \operatorname{Im} u_{\text{внутр.}})^T.$$

При цьому як складові вектора характеристик багатовимірного сигналу відгуку можуть бути використані також модуль і фаза сигналів відгуку зазначених вимірювальних обмоток.

При контролі багатопараметрових структур кількість параметрів, що впливають на формування сигналу відгуку вихорострумowego перетворювача у вимірювальних обмотках 2 і 4, може становити 5, 6 і більше. Для вирішення задачі селективного контролю у такому випадку необхідно збільшувати кількість складових вектора характеристик багатовимірного сигналу відгуку, тобто збільшувати його розмірність. Відповідно до основних положень теорії методу вихрових струмів цю задачу вирішують шляхом збудження вихрових струмів на різних частотах [1, 4]. При цьому сигнали відгуку, отримані на різних частотах, характеризуються зміною амплітудно-фазових залежностей від впливу параметрів контрольованого об'єкта, що обумовлює виконання умови їх лінійної незалежності. Це, зокрема, відображають годографи сигналів відгуку вихорострумowego перетворювача, подані на Фіг. 2 і Фіг. 3.

Так, на Фіг. 2 і Фіг. 3 можна виділити такі дві області, обмежені годографами впливу питомої електропровідності і зазору:

$$\text{область } V1 \Rightarrow \{\sigma = 0,54 \dots 0,89 \text{ (МСм/м)}; h = 0 \dots 1,0 \text{ (мм)}\}$$

$$\text{і область } V2 \Rightarrow \{\sigma = 0,89 \dots 2,05 \text{ (МСм/м)}; h = 0 \dots 1,0 \text{ (мм)}\}.$$

При зміні частоти струму вдвічі за виконання відомої умови $\omega \cdot \sigma = \text{const}$ [1, 4] область $V1$ сигналів відгуку вимірювальних обмоток 4 і 2 зміщується у межі області сигналів відгуку $V2$, що відрізняється амплітудно-фазовими характеристиками. Відповідно область $V2$ зміститься далі у комплексній площині сигналів відгуку (на Фіг. 2 і Фіг. 3 не зображено).

Таким чином для вирішення задачі збільшення кількості характеристик, тобто розмірності багатовимірного відгуку запропонованого вихорострумowego перетворювача, з метою можливості збільшення кількості параметрів, що контролюють, обмотку збудження 1 вихрових струмів у контрольованому об'єкті необхідно живити щонайменше струмом двох частот

Запропонований вихорострумовой перетворювач для вирішення задач селективного багатопараметрового контролю забезпечує на виходах вимірювальних обмоток 4 і 2 формування багатовимірного сигналу відгуку. При цьому сигнал відгуку додатково введеної зовнішньої вимірювальної обмотки характеризується суттєво вищою чутливістю до контрольованого параметра при зростанні величини зазору між вихорострумовой перетворювачем і поверхнею контрольованого об'єкта порівняно з сигналом відгуку внутрішньої вимірювальної обмотки, яку зазвичай використовують.

Запропонований вихорострумовой перетворювач може бути використаний в апаратурі та спеціалізованих приладах вихорострумowego контролю для підвищення точності в задачах селективних багатопараметрових вимірювань при діагностуванні ступеня пошкодження елементів конструкцій через деградацію матеріалу, корозію та інші чинники під час експлуатації в авіації, енергетиці на транспорті тощо, а також для контролю якості продукції у виробництві.

Джерела інформації:

1. Неразрушающий контроль. Справочник в 8-ми томах под ред. чл.-корр. РАН В.В.Клюева. Том 2. Вихретоковый контроль. Кн. 2. "Машиностроение", 2006.

2. Патент UA 105571 C2, МПК G01N 27/90, G01N 33/12. Вихорострумовой спосіб вимірювання товщини та питомої електропровідності матеріалу оболонок виробів із неферромагнітних матеріалів із відлаштуванням від впливу зазору / А.Я. Тетерко, Г.Г. Луценко (UA). - Заявка № а 2012 12324; Заявлено 29.10.2012; Опубл. 25.05.2014, Бюл. № 10.

3. Патент UA 102446 C2, МПК G01N 27/90. Спосіб вихорострумowych селективних вимірювань параметрів оболонок / А.Я. Тетерко, Г.Г. Луценко, В.І. Гутник (UA). - Заявка № а2011 13535; Заявлено 17.11.2011; Опубл. 10.07.2013, Бюл. № 13

4. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. - Новосибирск: Наука, 1967.-144 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

5

1. Вихорострумовий перетворювач для багатопараметрового контролю матеріалів і виробів, в якому обмотка збудження і вимірювальна обмотка розташовані всередині феритового циліндричної форми півосердя типу Р, який **відрізняється** тим, що додатково містить зовнішню вимірювальну обмотку, яку розміщено на зовнішній поверхні феритового циліндричної форми півосердя типу Р.

10

2. Вихорострумовий перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що виконаний з можливістю живлення обмотки збудження струмом щонайменше двох частот одночасно.

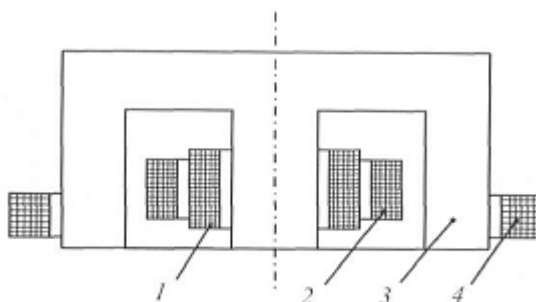


Fig. 1

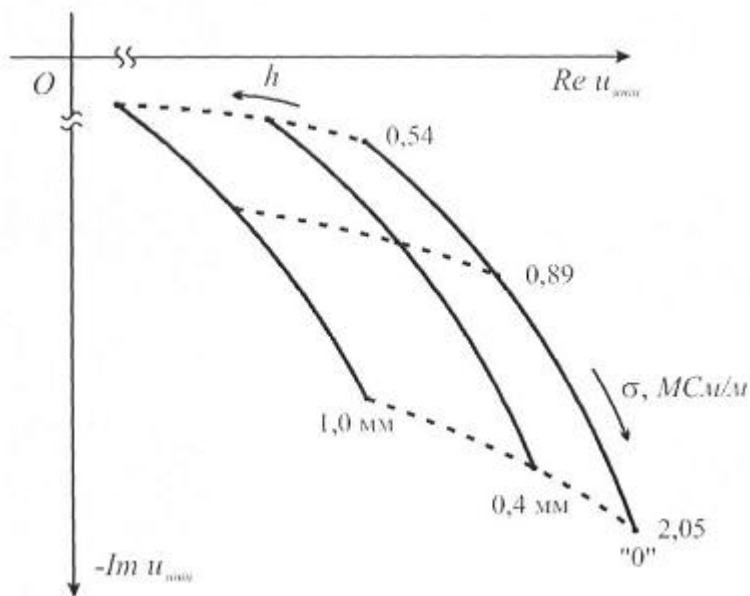


Fig. 2

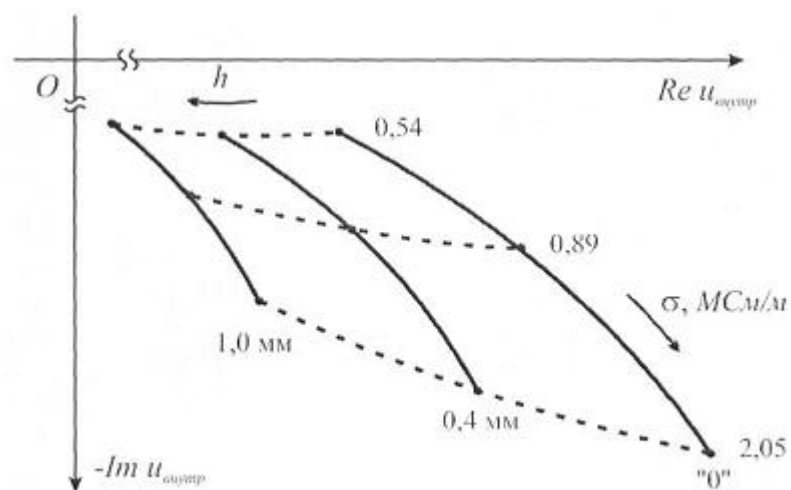


Fig. 3

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601