



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 56801

(13) A

(51) 7 G01R33/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

1

2

(21) 2002097509

(22) 17 09 2002

(24) 15 05 2003

(46) 15 05 2003, Бюл. № 5, 2003 р.

(72) Себко Вадим Пантелійович, Горкунов Борис
Митрофанович, Тюпа Ігор Васильович(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"(57) Спосіб неруйнівного контролю електро-
магнітних параметрів циліндричних об'єктів пе-
редбачає, що об'єкт розміщують у поздовжнє
змінне електромагнітне поле, яке збуджує в ньому
вихрові струми, що створюють своє електро-
магнітне поле вихрових струмів, яке змінює
амплітуду і фазу результуючого магнітного потоку
у об'єкті, який відрізняється тим, що вихрові
струми збуджують пропусканням через контакти
на поверхні циліндричного об'єкта змінного елек-
тричного струму з фіксованими значеннями
амплітуди і частоти, вимірюють значення падіння
напруги на об'єкті між контактами і кута фазового
зсуву між струмом і падінням напруги, а потім, ко-ристуючись встановленими універсальними
функціями перетворення, які зв'язують параметри
виробу із сигналами перетворювача, спільно ви-
значають відносну магнітну проникність μ_r і питому
електричну провідність σ за формулами

$$\mu_r = \frac{8\pi \left[\frac{U_n \sin \varphi}{2\pi f l} - \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{a} - 1 + \frac{4a}{\pi l} - \frac{a^2}{2l^2} \right) \right]}{\mu_0 L_n I}$$

$$\sigma = x^2 / \left(2\pi a^2 \mu_0 \mu_r f \right),$$

де U_n - падіння напруги на об'єкті, φ - фазовий кут
між струмом I і падінням напруги U_n , μ_0 - магнітна
постійна, l - відстань між торцями циліндричного
об'єкта, a - радіус циліндричного об'єкта, f - частота
змінного електричного струму, L_n - внутрішня
нормована індуктивність об'єкта, R_n - нормований
електричний опір об'єкта, μ_r - відносна магнітна
проникність, σ - питома електрична провідністьВинахід відноситься до неруйнівного контролю
і може бути використане в електромагнітній струк-
троскопії і вимірювальній техніціВідомий засіб неруйнівного контролю елек-
ромагнітних параметрів (відносної магнітної про-
никності) циліндричних електропровідних об'єктів,
заснований на створенні в об'єкті контролю змін-
ного електромагнітного поля за допомогою намаг-
нічуючої обмотки, у якій міститься об'єкт, і визна-
чення основної кривої намагнічування за
допомогою вимірювальної обмотки, нанесеної на
об'єкт контролю, і вимірювального приладу феро-
метра [1]Недоліками даного засобу є низька чутливість,
точність вимірів і малий асортимент зразків і ви-
робів (в основному шихтовані зразки)Також відомий засіб неруйнівного контролю
питомої електричної провідності циліндричних
електропровідних об'єктів шляхом виміру активно-
го опору виробу мостом постійного струму [2]Недоліками даного засобу є низькі функціона-
льні можливості (вимірюється один параметр),
складність процесу виміру, важко його автомати-
зуватиНайбільш близьким з заявленого з технічної
сутності є засіб [3] безконтактного спільного не-
руйнівного контролю електромагнітних параметрів,
заснований на спільному вимірі питомої електрич-
ної провідності і відносної магнітної проникності
циліндричний електропровідних суцільних феро-
магнітних об'єктів, що полягає в тому, що контро-
льований циліндричний об'єкт розміщують у
трансформаторний електромагнітний перетворю-
вач, за допомогою струму в намагнічу вальній об-
мотці у виробі створюють вихрові струми, вимірю-
ють значення ЕРС у вимірювальній обмотці і
фазового кута. Вихідні сигнали трансформаторно-
го електромагнітного перетворювача зв'язані за
допомогою функціональних залежностей з елек-
ромагнітними параметрами циліндричних об'єктів,

(13) A

(11) 56801

(19) UA

тобто з питомою електричною провідністю і відносною магнітною проникністю суцільних циліндричних електропровідних феромагнітних об'єктів. Відмінною рисою даного методу є підвищена вірогідність неруйнівного контролю електромагнітних параметрів, оскільки, на відміну від попередніх способів, значення питомої електричної провідності і відносної магнітної проникності визначаються спільно.

Недоліком даного засобу є вузький асортимент контрольованих циліндричних електропровідних об'єктів, зв'язаний з відсутністю можливості приміщення в трансформаторний електромагнітний перетворювач суцільних і трубчастих виробів, що мають доступ до вільних кінців виробу і низкою точністю вимірів електромагнітних параметрів, зв'язаної з впливом розмагнічуючого фактора на результати вимірів.

Задача винаходу – підвищення вірогідності і точності неруйнівного контролю параметрів об'єктів і розширення асортименту контрольованих циліндричних електропровідних феромагнітних об'єктів.

Задача вирішується за рахунок виключення впливу на результати виміру розмагнічуючого фактора і можливості контролю електромагнітних параметрів циліндричних електропровідних феромагнітних об'єктів (суцільних і трубчастих), що мають і не мають доступ до торців виробу.

Сутність засобу електромагнітного неруйнівного контролю електромагнітних параметрів циліндричних електропровідних феромагнітних об'єктів полягає в тому, що в циліндричному електропровідних феромагнітному об'єкті створюють вихрові струми шляхом пропущення через контрольований провідний об'єкт, геометричні параметри якого відомі чи вимірюються додатково стандартними методами і пристроями. Зі збільшенням частоти намагнічуючого змінного струму, електромагнітне поле в об'єкті концентрується поблизу поверхні, а тим самим змінюється площа ефективного перерізу провідника, що, у свою чергу, приводить до зменшення внутрішнього магнітного потоку Φ_i і відповідно внутрішньої індуктивності L_i . Разом з тим, зі збільшенням частоти зростає активний опір трубчастого виробу R через зменшення зони провідності. Комплексний опір провідника зі струмом визначається виразом

$$Z = R_i + j\omega(L_e + L_i) \quad (1)$$

де R_i – опір виробу, що залежить від частоти намагнічуючого току, L_i – внутрішня індуктивність об'єкта, що зв'язана з частотою. Ввівши спеціальні параметри – нормований опір R_n і нормовану індуктивність L_n , одержали вирази, що однозначно зв'язують активний опір R і індуктивність циліндричного об'єкту L з відносною магнітною проникністю μ_r і питомою електричною провідністю σ матеріалу об'єкта, у якості якого можуть виступати циліндричні вироби (прутки, стрижні, дроти, труби). На фіг 1 і 2 приведені графіки даних нормованих параметрів.

Методика вимірів полягає в тому, що повздовж циліндричного провідного об'єкту при фіксованій частоті f пропускають намагнічуючий струм I , вимірюють на кінцях виробу падіння на ньому напруги U_n і фазовий кут φ між I і U_n . Далі визначають опір

виробу при частоті f по формулі

$$R = \frac{U_n}{I} \cos \varphi \quad (2)$$

Потім знаходять нормоване значення цього опору

$$R_n = R/R_0 \quad (3)$$

де R_0 – опір об'єкту постійному струму, тобто при $f = 0$.

Після цього, виходячи з установленної залежності R_n від узагальненого параметра x (перша універсальна функція перетворення (див. фіг 1)) для заданого a , знаходять значення x з співвідношення

$$x = \alpha \sqrt{2\pi\mu_0\mu_r\sigma f}, \quad (4)$$

де μ_0 – магнітна постійна, α – зовнішній радіус об'єкту, μ_r – відносна магнітна проникність, σ – питома електрична провідність.

З величини x і встановленої залежності питомої нормованої внутрішньої індуктивності L_n (див. фіг 2) об'єкту, від x визначають величину L_n . З іншого боку, L_n можна розрахувати, як

$$L_n = \frac{L_i}{\mu_r L_0} \quad (5)$$

де L_i і L_0 – внутрішні індуктивності об'єкту при частотах $f \neq 0$ і $f = 0$

$$L_0 = \frac{\mu_0 I^2}{8\pi}, \quad (6)$$

$$L_i = L - L_e \quad (7)$$

де L – сумарна індуктивність, обумовлена магнітними потоками енергії усередині і зовні об'єкту. Величину L_e розраховують по формулі

$$L_e = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{\alpha} - 1 + \frac{4\alpha}{\pi l} - \frac{\alpha^2}{2l^2} \right) \quad (8)$$

Сумарну індуктивність L знаходять, з вимірювальних величин, з формули

$$L = U_n \sin \varphi / (2\pi f I) \quad (9)$$

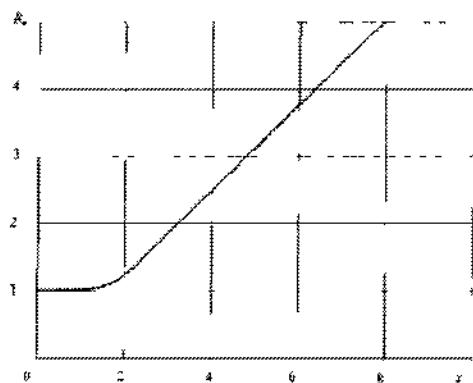
Потім визначають значення відносної магнітної проникності μ_r і питомої електричної провідності σ , виходячи зі співвідношення

$$\mu_r = \frac{8\pi \left[\frac{U_n \sin \varphi}{2\pi f I} - \frac{\mu_0 I^2}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{\alpha} - 1 + \frac{4\alpha}{\pi l} - \frac{\alpha^2}{2l^2} \right) \right]}{\mu_0 L_n I^2} \quad (10)$$

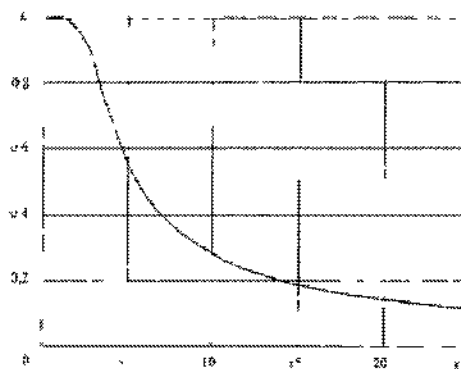
$$\sigma = x^2 / (2\pi\alpha^2\mu_0\mu_r f) \quad (11)$$

На фіг 3 показана схема установки, що реалізує спосіб. Установка містить у собі генератор G синусоїдальних сигналів, осцилограф $ПО$, досліджувані об'єкт і одночасно робочий контактний електромагнітний перетворювач, представлений на схемі у виді послідовно включених активного опору R і індуктивності L . У схемі використовується амперметр перемінного струму A , два вольтметри V_1 і V_2 , і фазометр Φ . Осцилограф O призначений для контролю форми намагнічувального струму, амперметр A служить для контролю величини намагнічуючого струму, що протікає повздовж досліджуваного зразка до частот 1500 Гц. Для цієї ж мети у схемі використовується вольтметр U , що вимірює падіння напруги на зразково-

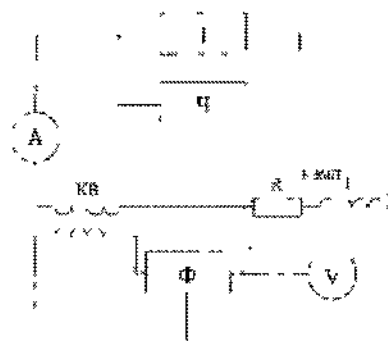
му опору Y_1 при частотах струму вище 1500 Гц. Вольтметр V_2 призначений для виміру значення падіння напруги на зразку. Частотомер $Ч$ використовується для контролю частоти намагнічувального струму, а фазометр Φ , який призначений для виміру фазового кута зсуву між струмом і падінням напруги на об'єкті, для чого використовується представлена на схемі котушка взаємодуктивності КВ. Остання являє собою повітряний трансформатор. Напруга на вторинній обмотці котушки взаємодуктивності КВ є опорним для фазометра



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Φ

Джерела інформації

- 1 Кифер И И. Испытания ферромагнитных материалов - М. Энергия, 1969 - с 260
- 2 Электрические измерения / Под ред. А в Фремке и Е М Душина -Л. Энергия, 1980 -с 329
- 3 Бондаренко В И, Горкунов Б М, Себко В П, Тюпа В И. Бесконтактное измерение электромагнитных характеристик цилиндрических изделий // Измерительная техника - 1984 - №6 - С 57-58