



УКРАЇНА

(19) UA (11) 24138 (13) U
(51) МПК (2006)
G01R 33/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕКРАННИЙ ЧОТИРИПАРАМЕТРОВИЙ СПОСІБ СУМІСНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФЕРОМАГ-
НІТНИХ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ

1

2

(21) u200613473

(22) 19.12.2006

(24) 25.06.2007

(46) 25.06.2007, Бюл. № 9, 2007 р.

(72) Себко Вадим Вадимович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Екранний чотирипараметровий спосіб контролю параметрів феромагнітних трубчастих виробів, який передбачає проникнення змінного збуджувачого магнітного потоку у феромагнітний трубчастий провідний виріб, а також наведення вихрової ЕРС в стінці труби, під дією якої виникають вихрові струми, що створюють магнітний потік, який складається геометрично зі збуджувачим магнітним потоком, створюючи результуючий магнітний потік $\Phi_{зт}$, за допомогою якого визначають магнітну індукцію $B_{зт}$, що наводить ЕРС $E_{зт}$ датчика, який знаходиться у внутрішній порожнині труби, при цьому результуючий магнітний потік зменшується по величині і зсувається по фазі, по відношенню до збуджувачого магнітного потоку, а все це в свою чергу приводить до згасання поля всередині труби, який **відрізняється** тим, що екранний ефект феромагнітної труби дає можливість визначити, за сигналами датчика всередині труби, відносну магнітну проникність μ_{rt} , питомий електричний опір ρ_t , коефіцієнт згасання магнітного поля h_t у трубчастому виробі, з урахуванням температури t феромагнітної труби, яка теж вимірюється:

$$\mu_{rt} = \frac{E_{зт} \cdot a}{2 \cdot 4,44 \cdot f_t \cdot \mu_0 \cdot H_0 \cdot S_d \cdot W_d \cdot d} - \frac{b}{2 \cdot d} + 1$$

$$\rho_t = \frac{\pi \cdot d \cdot b \cdot f_t \cdot \mu_0}{\text{tg} \varphi_{зт}}$$

$$t = \frac{1 + a \cdot t_1}{a} \left[\frac{\pi \cdot d \cdot b \cdot \mu_0 \cdot f_t}{\rho_t \cdot \text{tg} \varphi_{зт}} - 1 \right] + t_1$$

$$h_t = \frac{b \cdot \left[1 + 2 \cdot (\mu_{rt} - 1) \cdot \frac{d}{b} \right]}{\mu_{rt} \cdot a}$$

де $E_{зт}$ - ЕРС датчика в порожнині труби; a - зовнішній радіус трубчастого виробу; 4,44 - числовий коефіцієнт, який вказує на те, що вимірюється ефективно значення ЕРС $E_{зт}$; f_t - частота змінення магнітного поля з урахуванням температури; μ_0 - магнітна константа, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; H_0 - напруженість магнітного поля; S_d - площа поперечного перерізу електромагнітного датчика; W_d - число витків електромагнітного датчика; d - товщина стінки труби; b - внутрішній радіус трубчастого виробу; $\pi = 3,14$ - математична константа; $\text{tg} \varphi_{зт}$ - тангенс фазового кута зсуву магнітного потоку, який проходить всередині труби, a - температурний коефіцієнт опору матеріалу трубчастого виробу; t_1 - початкова температура труби, $t_1 = 20^\circ\text{C}$; ρ_t - питомий електричний опір при початковій температурі; μ_{rt} - відносна магнітна проникність труби з урахуванням температури.

Корисна модель відноситься до вихорострумового контролю і вимірювальної техніки і може бути використана в електромагнітній структурокопії і термометрії. Відомі засоби вимірювання коефіцієнту згасання, засновані на створенні вихрових струмів, в об'єкті контролю, які розмагнічують зовнішнє магнітне поле і, тим самим, здійснюють екранний ефект [1]. На основі цього ефекту

побудовані екранні пристрої, які захищають від зовнішнього поля прилади і вимірювальні пристрої. Вони мають недоліки, які полягають в тому, що не вимірюються електромагнітні параметри і температура екрану. Це не дає можливість використовувати ці пристрої в вимірювальній техніці.

Також, є відомим однопараметровий спосіб [2] визначення коефіцієнту згасання імпульсного маг-

UA (19) 24138 (11) 24138 (13) U

нітного поля в трубчастому немагнітному виробі, заснований на збудженні вихрових струмів у немагнітній трубі, які створюють своє магнітне поле, котре у свою чергу, геометрично складається зі зовнішнім магнітним полем, що приводить до згасання зовнішнього поля в трубі.

Відносними перевагами цього способу є те, що визначається коефіцієнт згасання дуже складного магнітного поля у трубчастому немагнітному виробі.

Недоліком даного способу є те, що в процесі виміру не визначаються електричний параметр, питома електрична провідність ρ і температура труби t .

Також є відомим двопараметровий спосіб [3] безконтактного вимірювання питомої електричної провідності і температури суцільного циліндричного виробу, заснований на наведенні вихрової ЕРС, під дією якої протікають вихрові струми, величина яких залежить від форми провідного виробу і електропровідності.

Все це змінює, в свою чергу, амплітуду вихрової ЕРС перетворювача і, таким чином, виникає залежність цієї ЕРС від електропровідності і температури.

Перевага цього способу полягає в тому, що сумісно вимірюється електропровідність і температура немагнітного суцільного виробу.

Недоліком даного способу є те, що не розглядається широкий асортимент виробів по їх магнітним параметрам і конфігураціям, наприклад, не контролюються феромагнітні трубчасті виробі.

Найбільш близьким до заявленого, з технічної сутності, є спосіб [4], вимірювання магнітної проникності і електропровідності трубчастого виробу, при зондуванні його продольним магнітним полем, який полягає в тому, що змінне продольне магнітне поле викликає реакцію виробу, яка приводить до зміни амплітуди і фази вимірювальної обмотки трансформаторного електромагнітного перетворювача.

Перевагами цього способу є сумісне визначення магнітного і електричного параметрів труби.

Недоліками даного способу є низька точність вимірювання, тому що, цей спосіб також не враховує температуру, від якої залежать електромагнітні параметри, крім того, не враховується коефіцієнт згасання електромагнітного поля у трубчастому виробі.

Задача корисної моделі - використання екранного трубчастого перетворювача, для сумісного визначення магнітної проникності μ_{rt} , питомого електричного опору ρ_t , температури t і коефіцієнту згасання магнітного поля у трубчастому виробі h_t , а також, підвищення точності визначення параметрів феромагнітної труби, розширення функціональних і технічних можливостей екранного перетворювача.

Задача вирішується шляхом використання екранного трубчастого пристрою, який включає в себе: трубу, на якій знаходиться намагнічувальна обмотка, а також в порожнині труби, малогабаритний електромагнітний датчик з вимірювальною обмоткою.

Причому, формула для знаходження магнітного потоку в середині труби Φ_{3t}

$$\Phi_{3t} = \pi \cdot a \cdot \mu_0 \cdot H_0 \cdot [1 + 2(\mu_{rt} - 1) \cdot d] \quad (1)$$

де $\pi = 3,14$ - математична константа; a - радіус виробу; μ_0 - магнітна константа, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; H_0 - напруженість магнітного поля; μ_{rt} - відносна магнітна проникність труби з урахуванням температури; d - товщина стінки труби.

Фазовий кут магнітного потоку Φ_{3t} , можна визначити як

$$\text{tg} \varphi_{3t} = \frac{d \cdot b}{\delta^2 \cdot \mu_{rt} \cdot t} \quad (2)$$

де δ - глибина проникнення магнітного поля в трубу; b - внутрішній радіус виробу.

Магнітна індукція трубчастого виробу B_{3t} , визначається як

$$B_{3t} = \frac{\mu_0 \cdot H_0 \cdot [1 + 2(\mu_{rt} - 1) \cdot d]}{a} \quad (3)$$

Причому ЕРС електромагнітного датчика E_{3t} який знаходиться в середині труби, визначають за формулою

$$E_{3t} = 4,44 f_t \cdot \pi \cdot a_d^2 \cdot W_d \cdot B_{3t} \quad (4)$$

де 4,44 - чисельний коефіцієнт, вказує на те, що вимірюється ефективне значення ЕРС E_{3t} ; f_t - частота змінення магнітного поля з урахуванням температури; W_d - число витків електромагнітного датчика; a_d - радіус електромагнітного датчика.

Сутність способу електромагнітних вимірювань відносної магнітної проникності μ_{rt} , питомого електричного опору ρ_t , температури труби t і коефіцієнту згасання змінного магнітного поля в середині труби h_t , полягає в тому, що струм в намагнічувальній обмотці соленоїду створює збуджуючий зовнішній магнітний потік, який проникає в середину труби, наводить вихрову ЕРС в стінках труби, під дією якої протікають вихрові струми, що мають свій магнітний потік, який взаємодіє зі збуджуючим магнітним потоком, і тим самим створює згасання магнітного поля в середині труби, оскільки вихрові струми залежать від магнітної проникності μ_{rt} , питомого електричного опору ρ_t , а ці електромагнітні параметри, в свою чергу, залежать від температури t , таким чином, магнітний потік Φ_{3t} в середині труби, а також магнітна індукція B_{3t} і ЕРС датчика в порожнині труби E_{3t} будуть залежати від величин μ_{rt} , ρ_t , t , а також коефіцієнту згасання змінного продольного магнітного поля h_t . Причому, для визначення температури труби необхідно використовувати умови постійного значення глибини проникнення магнітного поля δ ; в цьому разі змінення температури приводить до змінення величин μ_r і ρ , які є температурозалежними, при цьому, варіації електромагнітних параметрів компенсуються змінням частоти магнітного поля f_t і, таким чином, частота цього поля стає також залежною від температури.

Методика сумісного вимірювання магнітної проникності μ_{rt} , питомого електричного опору ρ_t , температури t феромагнітної труби і коефіцієнту згасання змінного магнітного поля в середині труби h_t полягає в тому, що вимірюють ЕРС E_{3t} , частоту f_t і розраховують напруженість зовнішнього по

відношенню до труби, магнітного поля H_0 , причому цю величину знаходять

$$H_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot I \cdot W_H}{L} \quad (5)$$

де I - струм намагнічувальної обмотки; W_H - число витків намагнічувальної обмотки; L - довжина соленоїда; $\sqrt{2}$ - числовий коефіцієнт.

Потім знаходять величину магнітної проникності μ_{rt}

$$\mu_{rt} = \frac{E_{3t} \cdot a}{2 \cdot 4,44 \cdot f_t \cdot \mu_0 \cdot H_0 \cdot S_d \cdot W_d \cdot d} - \frac{b}{2 \cdot d} + 1 \quad (6)$$

де S_d - площа поперечного перерізу електромагнітного датчика.

Потім питому електричну провідність σ_t визначають з урахуванням (2) по формулі

$$\sigma_t = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{3t}}{\pi \cdot d \cdot b \cdot f_t \cdot \mu_0} \quad (7)$$

Величину ρ_t визначають із співвідношення

$$\rho_t = \frac{1}{\sigma_t} = \frac{\pi \cdot d \cdot b \cdot f_t \cdot \mu_0}{\operatorname{tg} \varphi_{3t}} \quad (8)$$

Враховуючи відому лінійну залежність ρ металевго виробу від температури t

$$\rho = \rho_1 + \frac{\rho_1 \cdot a}{1 + a \cdot t_1} (t - t_1) \quad (9)$$

де t_1 - початкова температура $t_1 = 20^\circ\text{C}$; a - температурний коефіцієнт опору матеріалу виробу; ρ_1 - питомий електричний опір при температурі t_1 .

З урахуванням формул (8) та (9) отримаємо величину температури феромагнітної труби

$$t = \frac{1 + a \cdot t_1}{a} \left[\frac{\pi \cdot d \cdot b \cdot \mu_0 \cdot f_t}{\rho_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{3t}} - 1 \right] + t_1 \quad (10)$$

Коефіцієнт згасання h_t , який також залежить від температури труби t , знаходять з формули

$$h_t = \frac{b \cdot \left[1 + 2 \cdot (\mu_{rt} - 1) \cdot \frac{d}{b} \right]}{\mu_{rt} \cdot a} \quad (11)$$

На Фіг.1 наведена схема пристрою, що реалізує чотирьохпараметровий спосіб. Схема включає до себе соленоїд 1, нагрівач 2, електромагнітний датчик 3, амперметр 4, генератор синусоїдальних сигналів 5, частотомір 6, котушку взаємодуктивності КВ, феромагнітну трубу 7, фазометр 8, вольтметр В-9 і вольтметр В1-10. Вольтметр 9 вимірює ЕРС E_{3t} , яка наводиться в електромагнітному датчику 3. Вольтметр 10 вимірює ЕРС E_0 ,

пов'язану з напруженістю магнітного поля H_0 зовні труби. Котушка взаємодуктивності КВ і фазометр 8 дозволяють вимірювати фазовий кут зсуву φ_{3t} , між ЕРС E_{3t} і E_0 .

На Фіг.2-Фіг.4 представлені залежності питомого електричного опору ρ_t , коефіцієнта згасання h_t , частоти магнітного поля f_b відносної магнітної проникності μ_η від температури t .

Якщо залежності величин ρ_t і μ_{rt} від t прийняті, як лінійні, див. Фіг.2, 5, то залежність частоти поля f_t від t , див. Фіг.4 є близькою до лінійної.

Залежність величини коефіцієнта згасання h_t від t є спадаючою, див. Фіг.3, тому що у формулі для визначення h_t , параметр μ_{rt} знаходиться в знаменнику, а величина μ_{rt} при збільшенні температури сама росте.

Розрахунки показують, що спільні вимірювання відносної магнітної проникності μ_η , питомого електричного опору ρ_t , температури труби t і коефіцієнту згасання h_t змінного магнітного поля у трубчастому виробі дозволяють підвищити точність вимірювання вказаних параметрів на 15-20% у порівнянні з відомими способами і суттєво розширити функціональні можливості контролю багатьох параметрів феромагнітної труби, тому що, у даному випадку, враховується при якій температурі знаходяться величини μ_{rt} , ρ_t і h_t крім того, підвищення точності визначення чотирьох параметрів труби, здійснюється, також за рахунок електромагнітного датчика, який знаходиться у середині трубчастого виробу.

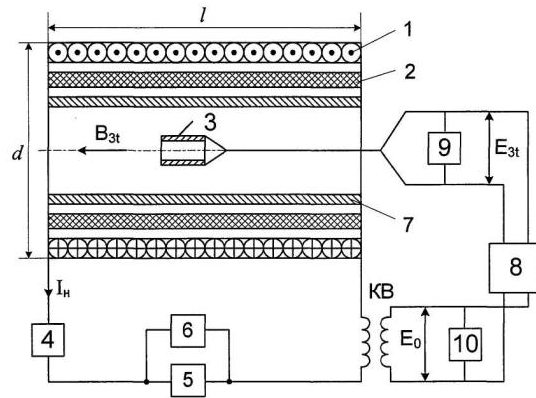
Джерела інформації:

1. Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 327С.

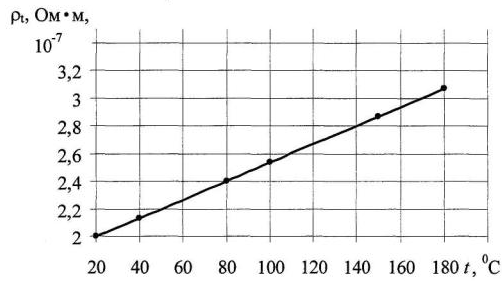
2. Себко В.П., Беззапонная В.М. О диффузии затухающих магнитных полей в металлическую камеру. // Электротехника і електромеханіка. НТУ "ХПІ" - Харків: - 2005р. - Вип.4. - С.61-63.

3. Багмет О.Л. К теории электромагнитного преобразователя температуры. Сборник научных трудов ХГПУ "Информационные технологии". - Вип.7. - ч.3. - Харьков. - 1999. - С.86-88.

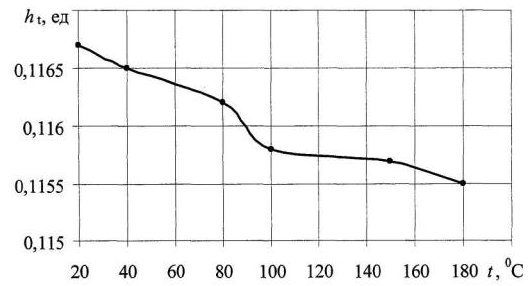
4. Себко В.П., Хоменко В.Г. Электромагнитный контроль параметров проводящих трубчатых изделий // Весник ХГПУ. Вип.61 - Харьков. - 1999. - С.337-338.



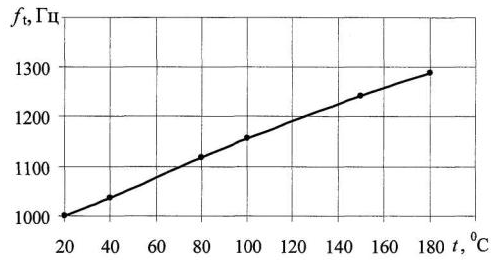
Фиг. 1



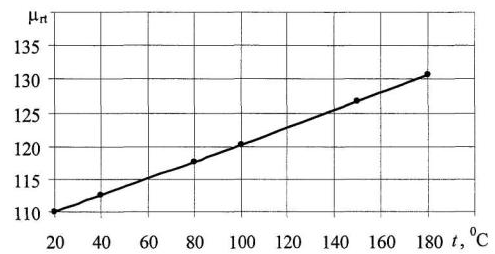
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5