



УДК 620.179

ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ Й ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ КАБЕЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ТРАНСФОРМАТОРОБУДУВАННЯ

Безотосний В.Ф., к.т.н.,

Козлов В.В., к.т.н.

Набокова О.В.

Запорізький національний технічний університет

Тел.: 063-522-44-10

Анотація – розглянуті питання автоматизації неруйнуючого експрес контролю товщини ізоляції та дефектів в електропровідних жилах та шинах кабельної промисловості і трансформаторобудуванні. Отримані співвідношення для розрахунку раціональної частоти намагнічування прохідних датчиків.

Ключові слова: дефект ізоляції, контроль неруйнуючий, частота раціональна, датчик прохідний.

Постановка проблеми. Однієї з актуальних завдань при автоматизації технологічних процесів у трансформаторобудуванні, кабельній промисловості й інших областях є контроль товщини ізоляції на елементарних провідниках при їх виготовленні, а також у процесі експлуатації виробів. Актуально також виявлення різних дефектів на попередніх технологічних операціях з наступним їх усуненням в електропровідних проводах, шинах, транспонованих кабелях. До найбільш характерних дефектів відносяться подряпини, раковини, сторонні включення та ін.

Аналіз останніх досліджень. У сучасній дефектоскопії застосовують різні способи неруйнуючого контролю таких виробів (див., наприклад, Мак-Майстер “Довідник по неруйнуючих випробуваннях”), що полягають у тому, що контрольований виріб пропускають через диференційно включені датчики, обмотки збудження яких підключені до джерела змінного струму, а вимірювальні – до схеми індикації. Вікна таких прохідних датчиків звичайно повторюють конфігурацію перетину контрольованого виробу. Для таких способів характерна низька чутливість до дефектів розташованих на ребрах прямокутного перетину. Однак наявність навіть незначного дефекту на ребрі призводить до ушкодження ізоляції при експлуатації готового виробу, що неприпустимо.



Формулювання цілей статті (постановка завдання). Пропонується раціональний спосіб контролю, який відрізняється високою чутливістю до дефектів, які розташовані на ребрах виробів. Це досягається за рахунок того, що магнітний потік проходить у виробі, головним чином, в області ребер завдяки додатковому розвороту датчика навколо осі симетрії до установки робочого зазору між ребрами виробу й внутрішньою поверхнею датчика. При виникненні дефекту ребра (подовжнього або поперечного) ефект розмагнічування й розподіл магнітних силових ліній змінюється, що й фіксується вимірювальними пристроями.

Метою даної роботи є одержання розрахункових співвідношень для вибору раціональної частоти, відповідно до намагнічуючого струму при контролі електромагнітних властивостей матеріалів за складовими комплексного опору обмотки намагнічування. Подальший аналіз проведений для випадку контролю властивостей за уявною складовою.

Основна частина. У загальному випадку, як показано в [1] уявна складова внесеного імпедансу визначається дійсною складовою ефективною магнітної проникності. При розміщенні контрольованого виробу в прохідному перетворювачі електрорушійна сила, що наводитьсья у вимірювальній обмотці, визначається співвідношенням

$$U_{вих} = 2\pi \cdot f \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \mu_{ef} \cdot \mu \cdot H \cdot w_e, \quad (1)$$

де f - частота струму, що намагнічує, Гц;

d - діаметр контрольованого матеріалу, м;

μ_{ef} - ефективна магнітна проникність, Гн/м;

μ - відносна магнітна проникність матеріалу, в.о.;

H - напруженість магнітного поля, А/м;

w_e - кількість витків вимірювальної обмотки.

Ефективна магнітна проникність у співвідношенні (1) враховує вплив вихрових струмів і, згідно [2], визначається вираженням

$$\mu_{ef} = \frac{2}{k \cdot a} \cdot \frac{I_1(k \cdot a)}{I_0(k \cdot a)}, \quad (2)$$

де $I_0(k \cdot a)$ й $I_1(k \cdot a)$ - відповідно функції Бесселя нульового й першого порядків.



Аргумент функції Бесселя в (2) дорівнює

$$k \cdot a = \sqrt{j \cdot \frac{f}{f_g}}. \quad (3)$$

Частота, що відповідає випадку, коли модуль аргументу дорівнює одиниці, називається межевою та визначається виразом

$$f_g = \frac{5066}{\mu \cdot \gamma \cdot d^2}. \quad (4)$$

У роботі [3] доведено, що ефективна магнітна проникність контрольованого матеріалу з достатньою точністю описується рівнянням

$$\mu_{ef} = \frac{2 \cdot \left[\sin\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{2}\right) - j \cdot \cos\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right]}{\sqrt{j \cdot \frac{f}{f_g} \cdot \left[\cos\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{2}\right) + j \cdot \sin\left(\frac{k \cdot a}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \right]}}. \quad (5)$$

З урахуванням вираження (4), співвідношення (5) прийме вигляд

$$\mu_{ef} = \frac{142,4}{d \sqrt{j \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma}} \cdot \frac{\sin\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{2}\right) - j \cdot \cos\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{8}\right)}{\cos\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{2}\right) + j \cdot \sin\left(0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{8}\right)}. \quad (6)$$

Позначивши

$$U = 0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{2}; \quad (7)$$

$$V = 0,01d \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \frac{\pi}{8},$$

одержимо

$$\mu_{ef} = \frac{142,4}{d \sqrt{j \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma}} \cdot \frac{\sin U - j \cdot \cos V}{\cos U + j \cdot \sin V}. \quad (8)$$

Знайдено повне збільшення ефективної проникності при зміні електромагнітних властивостей контрольованого матеріалу



$$\partial\mu_{ef} = \frac{\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{d\mu}{\mu}}{d\sqrt{j \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma}(\cos U + j \sin V)^2} \cdot \left\{ 1,4 j \cdot d \cdot \sin \frac{3\pi}{8} \sqrt{f \cdot \mu \cdot \gamma} - \right. \\ \left. - 71,2 \left[\cos \frac{3\pi}{8} \cdot \sin(U + V) + j \cdot \cos(U + V) \right] \right\}. \quad (9)$$

Раціональна частота намагнічуючого струму відповідну до максимального збільшення ефективної магнітної проникності при зміні електромагнітних властивостей матеріалу

$$f = \frac{25 \cdot 10^4 \pi^2}{84 d^2 \cdot \gamma \cdot \mu}. \quad (10)$$

Раціональна частота намагнічуючого струму обумовлюється як електромагнітними властивостями контрольованого матеріалу, так і його діаметром. Для ілюстрації приведемо приклад. Контрольований зразок має діаметр $d = 5 \cdot 10^{-3}$ м, електропровідність $\gamma = 4 \cdot 10^6$ I/Ом·м та відносну проникність $\mu = 1,95$. Значення раціональної частоти у відповідності зі співвідношенням (10)

$$f = \frac{25 \cdot 10^4 \pi^2}{84 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 1,95} \approx 151 \text{ Гц.}$$

В окремому випадку, при контролі електропровідності матеріалів, співвідношення (9) прийме вигляд

$$\partial\mu_{ef} = \frac{k_1}{k} \cdot \frac{\partial\gamma}{\gamma}, \quad (11)$$

а при контролі магнітної проникності

$$\partial\mu_{ef} = \frac{k_1}{k} \cdot \frac{\partial\mu}{\mu}. \quad (12)$$

При використанні для визначення раціональної частоти годографів, наведених, наприклад в [4], раціональна частота відповідає відношенню f / f_g . Тоді одержимо $f_g = 5066 / 250 \approx 20,2$. Звідки $f = 8,4 \cdot 20,2 \approx 170$ Гц.

Як видно, результати розрахунків по співвідношенню (9) досить добре узгоджуються з результатами, які отриманими за допомогою



годографа комплексного опору перетворювача. Рациональна частота намагнічуючого струму прохідних струмовихрових перетворювачів відповідає максимальному значенню збільшення ефективної магнітної проникності, що викликана зміною електромагнітних властивостей контрольованого матеріалу.

Висновок:

- отримані співвідношення для розрахунків ефективної магнітної проникності залежать від частоти намагнічуючого струму, з урахуванням електромагнітних властивостей досліджуваних матеріалів;

- отримано аналітичне вираження для розрахунків раціональної частоти струмовихрового перетворювача з урахуванням геометричних параметрів і електромагнітних властивостей контрольованих матеріалів;

- спосіб контролю дефектів на ребрах прямокутних електропровідних шин кабельної продукції та методика розрахунку раціональних частот намагнічування прохідних датчиків дозволяє підвищити якість неруйнуючого експрес контролю та автоматизувати виробництво продукції у кабельній промисловості й трансформаторобудуванні.

Список використаних джерел

1. *Безотосный В.Ф.* Применение токовыххревого баланса для контроля свойств материалов [Текст] / *В.Ф. Безотосный, В.В. Козлов, О.В. Набокова* // Вестн. национального технического университета "ХПИ". – 2014. - №48. – С. 56-59.

2. *Безотосный В.Ф.* Выбор рациональной частоты тока намагничивания токовыххревых преобразователей при контроле материалов [Текст] / *В.Ф. Безотосный, В.В. Козлов, О.В. Набокова* // Электротехника и Электромеханика. - 2012. - №1.- С. 19 – 21.

3. *Безотосный В.Ф.* Учет энергетических факторов при расчете намагниченности ферромагнитных материалов [Текст] / *В.Ф. Безотосный, Э.В. Власенко* // Электротехника и электроэнергетика. – 2004. – №1. – С. 13 – 17.

4. *Безотосный В.Ф.* К вопросу повышения точности расчета выходных характеристик базового многофункционального магнитоупругого датчика [Текст] / *В.Ф. Безотосный, В.В. Козлов, О.В. Набокова* // Вестн. национального технического университета "ХПИ". – 2010. – №48. – С. 56–59.



К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСФОРМАТОРОСТРОЕНИЯ

Безотосный В.Ф, Козлов В.В, Набокова О.В.

Аннотация – рассмотрены вопросы автоматизации неразрушающего экспресс контроля толщины изоляции и дефектов в электропроводящих жилах и шинах кабельной промышленности и трансформаторостроения. Получены соотношения для расчета рациональной частоты намагничивания проходных датчиков.

TO THE QUESTION OF AUTOMATION AND QUALITY IMPROVEMENT OF CABLE PRODUCTS AND TRANSFORMER CONSTRUCTION

V. Bezotosnij, V. Kozlov, O. Nabokova

Summary

The questions of automation of nondestructive express control of insulation thickness and defects in electrically conductive veins and tires of the cable industry and transformer construction are considered. The relations for calculating the rational magnetization frequency of pass-through sensors are obtained.