

---

УДК 621.311

И.В. Пантелеева, А.П. Калмыков

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ДЕТАЛЕЙ

*Рассмотрены методы измерения магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости трубчатых цилиндрических токопроводов, описаны их сферы применения, достоинства и недостатки. Определен основной метод, позволяющий установить алгоритмы измерительных и расчетных операций, которые могут быть применены в устройствах для определения параметров цилиндрических деталей. Разработана математическая модель установки для достоверной оценки параметров изделий.*

**Ключевые слова:** токопровод, магнитная проницаемость, удельная электрическая проводимость, метод измерения.

### Введение

**Постановка проблемы.** Интенсивное развитие промышленности тесно связано с совершенствованием методов и средств контроля, которые, в свою очередь, основаны на измерениях определенных физических характеристик объектов контроля. При испытаниях токопроводящих изделий обычно используют удельную электрическую проводимость  $\sigma$  и относительную магнитную проницаемость  $\mu_r$ . Эти параметры несут информацию о различных свойствах детали.

Поскольку значительную часть выпускаемой промышленностью продукции составляют цилиндрические токопроводящие изделия (сплошные стержни, проволока, трубы, токопроводы), то развитие и совершенствование методов и средств измерения  $\mu_r$  и  $\sigma$  таких изделий является важной задачей.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Обычно  $\mu_r$  и  $\sigma$  измерялись отдельно [1]. К примеру, магнитные испытания электротехнических сталей, необходимых для создания энергетического оборудования, проводились в условиях практической от-

стройки от влияния  $\sigma$ . К достаточно эффективным методам измерения электрических и магнитных параметров относятся вихретоковые методы, обеспечивающие бесконтактность, многопараметровость, высокую производительность, надежность и достаточно простоту автоматизации измерений.

В настоящее время широко распространены вихретоковые методы измерений сплошных стержней [2]. Вопросы же измерений на трубчатых деталях изучены недостаточно, что объясняется сложным характером функциональных зависимостей.

**Целью данной работы** является разработка и исследование методов, а в перспективе, и устройства для совместного определения электромагнитных параметров трубчатых цилиндрических токопроводов.

### Основной материал

Методы измерения  $\mu_r$  и  $\sigma$  в переменных магнитных полях можно в общем случае разделить на методы измерения при фиксированных частотах электромагнитного поля и методы на основе фиксированной фазы. Как следует из названия, измерения методом фиксированных частот электромагнитных параметров токопроводящих деталей проводятся при фиксированных частотах поля. Это позволяет использовать для реализации метода широкий ассортимент серийно выпускаемых приборов: мостов и компенсаторов переменного тока, резонансных вольтметров, нуль-индикаторов и фазометров.

Алгоритм использования данного метода следующий: измеряют значение  $E_n$  и  $\varphi$  электромагнитного преобразователя (ЭМП) с изделием. По измеренному значению фазового угла  $\varphi$  нормированной ЭДС  $E_n$  преобразователя при известном отношении  $d/\alpha$ , пользуясь зависимостью  $K_{cp} = f(\varphi_{cp})$ , находят параметр  $K_{cp}$  и вычисляют значение  $\mu_r$ , а затем и  $\sigma$ .

Следует отметить, что при реализации различных методов, целесообразно осуществлять компенсацию влияния магнитного потока  $\Phi_z$  в зазоре между измерительной обмоткой ЭМП и контролируемым изделием. Такая компенсация соответствует условному переносу измерительной обмотки преобразователя на образец, что значительно повышает точность измерений.

Основным достоинством метода является то, что для решения задачи совместного определения  $\mu_r$  и  $\sigma$  можно устанавливать такие значения частот, которые соответствуют оптимальным режимам измерительной аппаратуры и ЭМП с компенсирующим устройством. Это позволяет использовать для реализации метода достаточно большой арсенал стандартных измерительных приборов.

Существенным недостатком метода фиксированных частот является зависимость режима измерений от параметров контролируемой детали.

Одним из наиболее эффективных путей стабилизации режима измерений является поддержание при измерениях постоянным значение фазы магнитного потока в образце относительно возбуждающего потока. С точки зрения технического исполнения, постоянство фазы наиболее удобно поддерживать изменением частоты намагничивающего тока ЭМП.

Применение метода фиксированной фазы открывает возможности для реализации измерений и на трубчатых изделиях. Известно, что при постоянной фазе  $\varphi$  для заданного  $d/\alpha$  можно получить зависимости, однозначно связывающие  $\mu_r$  и  $\sigma$  измеряемой величиной  $E_n$ , при этом зависимость  $\mu_r = f(E_n)$  близка к линейной в широком диапазоне изменения  $\mu_r$ .

Эти обстоятельства позволили исключить сложные расчетные операции, сопутствующие определению  $\mu_r$  и  $\sigma$ , а использовать для расчетов небольшие (10...15 значений) массивы данных для определения  $\sigma$ . Определение же  $\mu_r$  при фиксированной фазе можно осуществить по формуле:

$$\mu_r = sE_n - t, \quad (1)$$

где  $s$  и  $t$  – расчетные постоянные коэффициенты для заданных  $d/\alpha$  и  $\varphi$ .

Метод фиксированной фазы особенно эффективен при измерениях электромагнитных параметров изделий, имеющих одинаковые геометрические типоразмеры. Однако аппаратная реализация метода фиксированной фазы более сложна по сравнению с методом фиксированных частот.

Контроль качества продукции связан с необходимостью разработки бесконтактных методов измерения параметров изделий на многочисленных производственных стадиях их производства. Это поставило задачи автоматизации измерений, уменьшения времени контроля, разработки надежных и простых в эксплуатации измерительных устройств. Широкое распространение получил переменного-амплитудно-частотный метод, заключающийся в поддержании постоянства амплитуды и фазы магнитного потока в изделии при осуществлении измерений. В этом случае электромагнитные параметры определяются по выражениям:

$$\mu_r = \mu_3 \cdot \frac{I_n}{I_3}; \quad \sigma = \sigma_3 \cdot \frac{I_n}{I_3} \cdot \frac{f_3}{f}, \quad (2)$$

где  $\mu_3$  и  $\sigma_3$  – электромагнитные параметры эталонного образца;  $I_3$  и  $f_3$  – значения намагничивающего тока и частоты ЭМП, соответствующие установленному режиму работы преобразователя при наличии в нем эталона;  $I_n$  и  $f$  – новые установившиеся значения тока и частоты ЭМП при наличии в преобразователе контролируемого изделия.

### Выводы

1. Описаны методы измерения магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости трубчатых цилиндрических деталей.

2. Метод фиксированных частот удобен тем, что частоты возбуждающего поля можно устанавливать на значениях, соответствующих минимальным погрешностям стандартных измерительных устройств. При этом можно достигнуть высокой помехозащищенности устройств.

3. Метод на основе фиксированной фазы основан на стабилизации режима работы ЭМП путем поддержания в процессе измерений постоянного значения фазы магнитного потока в изделии относительно возбуждающего потока. Причем метод позволяет производить измерения двух параметров ( $\mu_r$  и  $\sigma$ ).

**Список литературы**

1. Герасимов В.Г. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий / В.Г. Герасимов, В.В. Клоев, В.Е. Шатерников. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 272 с.
2. Пантелеева И.В., Баланчук В.В. К вопросу обоснования методов исследования электромагнитных параме-

тров полых токопроводов / И.В. Пантелеева, В.В. Баланчук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 2(69). – С. 92-93.

Принято 25.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор С.Ф. Артюх, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

**ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ, ЯКІ ПРОВОДЯТЬ СТРУМ**

I.V. Panteleeva, O.P. Calmicov

*Розглянуті методи вимірювання магнітної проникності та питомої електричної провідності трубчатих циліндричних струмопроводів, описані їх сфери використання, переваги та недоліки. Визначений основний метод, який дозволяє встановити алгоритм вимірювальних і обчислювальних операцій, які можуть бути використані в пристроях для визначення параметрів циліндричних деталей. Розроблена математична модель установки для достовірної оцінки параметрів виробів.*

**Ключові слова:** струмопровід, магнітна проникність, питома електрична провідність, метод вимірювання.

**DETERMINATION OF METODA MEASURING OF ELECTRIC AND MAGNETIC PARAMETERS OF CYLINDER DETAILS WHICH CONDUCT CURRENT**

I.V. Panteleeva, O.P. Calmicov

*The considered methods of measuring of permeance and electric permittivity of troubechatih cylinder stroumoprovodiv, described their spheres of the use, advantages and failing. Definite basic method, which allows to set the algorithm of measuring and vichislyovalnih operations which can be used in the devices for determination of parameters of cylinder details. The developed mathematical model of setting for reliable estimation of parameters of wares.*

**Keywords:** stroumoprovid, permeance, electric permittivity, method of measuring.