

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

Таблица 1. – Среднеквадратические значения коэффициентов отражения

Дли- тель- ность им- пуль- са, нс	Тип кабельной цепи		
	ТПП- 10×2×0.4	MAXILA N UTP CAT5e (solid) 4×2×24A WG	PCnet ProNet UTP CAT5e (patch) 4×2×24AWG
31.25	0.0148	0.00852	0.00346
62.5	0.0128	0.00487	0.0022
125	0.010	0.0047	0.0017

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов, А.С. Импульсные измерения коаксиальных кабелей связи./ А.С. Воронцов, П.А. Фролов. - М.: Радио и связь, 1985.
2. ISO/IEC 11801 Information technology –Generic cabling for customer premises Second edition 2002-09
3. Былина, М.С. Результаты экспериментальных исследований неоднородностей различных кабелей связи для широкополосного доступа и локальных сетей // М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, А.С. Дюбов. - Сб. докладов конф. «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений – СТЛКС-2010», -СПб., 2010, С. 54–62
4. Былина, М.С., Теоретическое и экспериментальное исследование зависимости затухания импульсов по амплитуде в кабелях связи от расстояния, формы и длительности импульса. // М.С. Былина, С.Ф. Глаголев. - Труды учебных заведений связи. №174. СПбГУТ, СПб, 2006 С.34–38

Ст. преподаватель Дюбов А.С., тел. +7-(952)- 226-03-11, e-mail: blip@bk.ru, Государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, кафедра линий связи (г. Санкт-Петербурге).

УДК 620.179.14

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

А.В.Егоров, В.В.Поляков, С.В. Иваков

Предложен метод определения магнитной проницаемости и удельной электропроводности протяженных проводящих объектов с широким диапазоном изменений их диаметров на основе метода вихревых токов. Разработан измерительно-вычислительный комплекс и проведено его тестирование.

Ключевые слова: удельная электропроводность, магнитная проницаемость, метод вихревых токов

Для неразрушающей диагностики и оперативного выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в проводящих объектах наиболее эффективны методы вихревого контроля [1]. Они основаны на резкой чувствительности удельной электропроводности, а для ферромагнетиков и магнитной проницаемости от параметров внутренней структуры проводника [2-4]. Существенное влияние на информативные параметры метода оказывают и геометрические размеры системы «вихретоковой датчик - контролируемый объект», что затрудняет интерпретацию полученных результатов.

В настоящей работе разработан измерительно-вычислительный комплекс, предназначенный для определения относительной магнитной проницаемости и удельной электропроводности сплошных цилиндрических

изделий с различным диаметром методом вихревых токов.

Постановка задачи

Метод бесконтактного измерения на переменном токе относительной магнитной проницаемости μ и удельной электропроводности σ сплошных цилиндрических изделий диаметром d с помощью проходного параметрического датчика рассмотрен в работе [5]. Этот метод основан на сопоставлении результатов измерений с рассчитанными зависимостями вносимых сопротивлений датчика.

При этом использовалось выражение для нормированного магнитного потока в образце Φ_{AH} , которое получалось из решения уравнений Максвелла и записывалось как:

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

$$\Phi_{AH} = \eta \mu \frac{2}{y\sqrt{j}} \frac{I_1(y\sqrt{j})}{I_0(y\sqrt{j})} \quad (1)$$

где I_0 и I_1 - модифицированные функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков соответственно, j - мнимая единица, $y = 0,5d\sqrt{\mu_0\mu\sigma\omega}$ - обобщенный параметр контроля, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$, ω - циклическая частота переменного тока, $\eta = (d/D)^2$ - коэффициент заполнения датчика образцом, D - эффективный диаметр датчика.

Нормированный магнитный поток в образце записывался и через параметры вихретокового преобразователя, по которому протекает синусоидальный ток:

$$\Phi_{AH} = \frac{L_{BH}}{L_0} + \eta - j \frac{r_{BH}}{\omega L_0} \quad (2)$$

где $L_{BH} = L - L_0$ и $r_{BH} = r - r_0$ - изменения индуктивности и активного сопротивления датчика на частоте ω при внесении в него проводящего объекта контроля (L_0, r_0 - параметры датчика без образца; L, r - с образцом).

Описание метода измерения

С учетом выражений (1) и (2) метод определения μ и σ протяженных цилиндрических объектов заключался в следующем: при помещении образца в датчик измерялись значения L_{BH} и r_{BH} на частоте ω и по формуле (2) определяли действительную и мнимую части нормированного магнитного потока. Затем, сравнивая их с соответствующими частями Φ_{AH} из формулы (1), находили μ и σ . Следует отметить, что коэффициент заполнения η в данной методике определяется непосредственным измерением диаметров образца и датчика.

Результаты и их обсуждение

Анализ годографов показывает, что величину η можно определить по характеру изменения параметров вихретокового преобразователя. Для этого необходима серия измерений на различных частотах.

В качестве примера на рисунке 1 приведена зависимость изменения относительных составляющих импеданса датчика при увели-

чении обобщенного параметра y (за счет частоты) и фиксированных μ и η (линия 1).

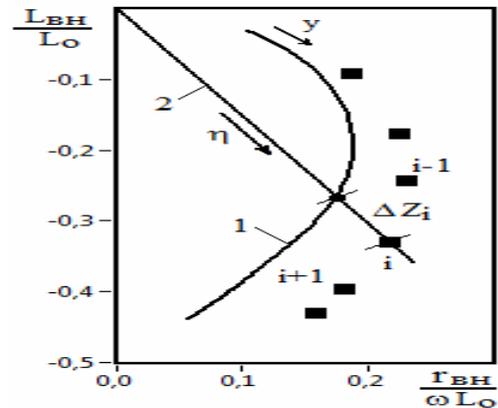


Рисунок 1 - Сопоставление теоретических линий годографа с экспериментальными данными

Подбирая два параметра (μ и η) можно добиться максимального приближения данной линии к экспериментальным точкам. Критерием близости выступает минимальное значение суммы квадратов $S = \sum \Delta z_i^2$, где Δz_i - расстояние между экспериментальными точками и рассчитанными значениями, лежащими на прямой 2, которая описывает изменения параметров датчика при фиксированных μ и y . После подбора оптимальных значений μ_{OPT} и η_{OPT} для каждой экспериментальной точки из численного решения уравнения (1) определяют y_i . Из зависимости $y(\omega)$ видно, что полученные значения должны хорошо аппроксимироваться степенной зависимостью вида $y = \alpha\omega^{1/2}$, где коэффициент α определяют путем обработки массива точек (y_i, ω_i) . Удельную электропроводность определяют из формулы

$$\sigma = \frac{4\alpha^2}{D^2 \eta_{OPT} \mu_{OPT} \mu_0} \quad (3)$$

Поскольку данная методика построена на задачах оптимизации, то наиболее эффективна ее применение в измерительно-вычислительных комплексах.

Для реализации предложенного подхода была изготовлена экспериментальная установка, структурная схема которой изображена на рисунок 2.

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

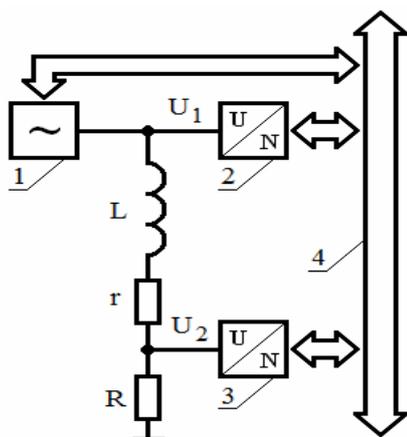


Рисунок 2 - Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса

Гармонический сигнал с генератора 1 подавался на электрическую цепь, состоящую из последовательно включенных вихретокового параметрического датчика (L и r) и стандартного сопротивления R . Аналого-цифровые преобразователи 2 и 3 оцифровывали напряжения U_1 и U_2 соответственно и по каналу связи 4 передавали данные в управляющий компьютер, который использовался и для установки режима работы генератора. Для регистрации напряжений U_1 и U_2 применяли цифровой двухканальный осциллограф АСК 2062, оснащенный интерфейсом USB для связи с компьютером и управляемым командами языка SCPI (Simple Commands for Programmable Instruments). Размер массива данных определялся внутренней памятью осциллографа и составлял 4000 отсчетов по каждому каналу. В качестве управляемого источника переменного напряжения использовали генератор сигналов специальной формы Г6-36 с каналом общего пользования.

Управляющая программа была создана в программной среде LabVIEW. При обработке зарегистрированных данных переходили к модельному описанию сигналов. Поскольку они менялись от времени по синусоидальному закону, то выходными характеристиками модели являлись следующие параметры: циклическая частота ω , амплитуды (U_{10} , U_{20}) и начальные фазы (φ_1 , φ_2) входного и выходного сигналов соответственно. Это позволило оптимально удалить шумы и иска-

жения, возникающие в измерительной системе.

Для расчета характеристик вихретокового преобразователя использовали выражения:

$$\begin{cases} L = \frac{U_{10}}{U_{20}} \cdot \frac{R}{\omega} \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \\ r = \left[\frac{U_{01}}{U_{02}} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - 1 \right] R \end{cases} \quad (4)$$

Проверку методики проводили на стержнях, изготовленных из алюминиевого сплава Д16, внешним диаметром от 15 до 24 мм. Эффективный диаметр вихретокового датчика составлял 29 мм. Измерения проводили в два этапа. Вначале определяли параметры датчика без образца в частотном диапазоне 200-2000 Гц с шагом по частоте 100 Гц. Затем проводили аналогичные измерения с образцом.

Для каждой частоты находили изменение импеданса датчика и отображали на комплексной плоскости годографа в виде экспериментальных точек. После этого численно подбирали $\mu_{\text{опт}}$ и $\eta_{\text{опт}}$ по минимуму S .

В качестве примера на рисунке 3 приведена зависимость $S(\mu, \eta)$ из которого видно, что существует однозначный минимум этой функции. Далее определяли коэффициент α и по формуле (3) рассчитывали удельную электропроводность материала.

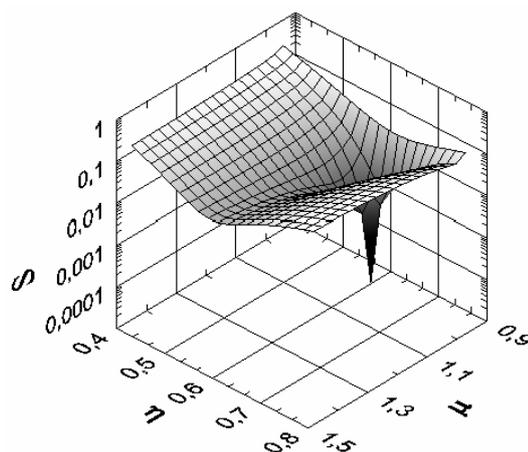


Рисунок 3 - Влияние μ и η на сумму квадратов отклонений теоретической линии годографа от экспериментальных данных

В результате проведенных измерений было получены следующие результаты $\mu = 1 \pm 0,02$, $\sigma = 18 \pm 0,5 \text{ МСм/м}$. Резуль-

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

таты измерений сопоставлялись с данными независимых измерений и в пределах погрешности совпадали с ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. / Под ред. В.В.Клюева. - М.: Машиностроение, 1995.
2. Дорофеев, А.Л. Индукционная структуроскопия./ А.Л. Дорофеев. - М.: Энергия. 1973.
3. Поляков, В.В. Зависимость электропроводности пористых металлов от структуры. // В.В. Поляков, А.В. Егоров. - Теплофизика и аэромеханика. 1994. Т.1. №2, С. 179-181.
4. Поляков, В.В. Магнитные и электрические характеристики пористых ферромагнетиков. // В.В. Поляков, А.В. Егоров. - Доклады Академии наук. 1995. Т. 344. №4. С. 479-480.
5. Баштанников, Л.А. Определение электромагнитных характеристик материала сплошных цилиндрических изделий// Л.А. Баштанников, В.И. Бондаренко, В.П. Себко, В.И. Тюпа. - Дефектоскопия, 1980, №8 С.5-9.

К.ф.-м.н., доцент Егоров А.В., д.ф.-м.н., профессор Поляков В.В., тел. (3852) 36-48-09, pvv@asu.ru; студент, Иваков С.В. - Алтайский государственный университет, кафедра прикладной физики, электроники и информационной безопасности, г. Барнаул.

УДК: 621.31:658.386

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ В СУБКРИТИЧЕСКИХ ФАЗАХ

Ю.А. Осокин

Рассматриваются особенности движения механизмов сложных систем в субкритических фазах, в частности на грани появления нештатных ситуаций. Предлагается повысить внимание к динамическим характеристикам демпферных устройств, в том числе на основе интерактивного контроля.

Ключевые слова: интерактивный контроль, демпфирование, динамические характеристики

На современных уровнях развития производства прежние формы контроля в ряде случаев не обеспечивают исполнение необходимых требований. Особенно это касается высоко динамичных процессов, в которых участвуют скоростные манипуляторы, роторные автоматы, механизмы турбин, гироскопы и другие подобные устройства. На определенных фазах высокودинамичных процессов неожиданно возникают опасные критические ситуации, потеря устойчивости. Механизмы при этом, как правило, являются самым слабым звеном системы. Несовершенство механики явилось причиной продолжительного тормоза в развитии отечественной и зарубежной робототехники. Для решения данных проблем требуются теоретические и экспериментальные исследования в данном направлении

Результаты испытаний устройств в реальном производстве показывают, что причиной многих сбоев процесса являются неоптимальные значения жесткости и демпфирующих свойств системы [1].

Недоучет этих параметров ведет к нарушению селективности и адекватности управляющих сигналов. Создается зона непредсказуемости критических ситуаций. Это

характерно для работы механизмов в упругой среде с нестабильными параметрами энергоносителей [1]. Желаемые вершины динамического потолка, предельно высоких скоростей приводов механизмов в отечественном и зарубежном машиностроении (например, в Японии) еще не достигнуты ввиду ряда нерешенных проблем.

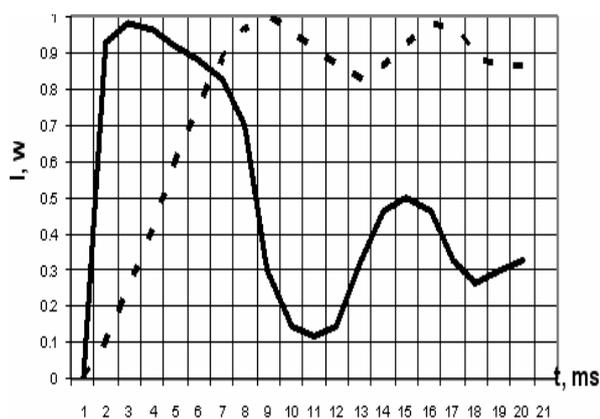


Рисунок 1 - Реакция механизма привода (пунктир) на сигнал управления

Проблема заключается в том, что для высоко динамичных систем создаются малоинерционные звенья. При этом конструктив-