

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Национальный исследовательский
Томский государственный университет

**ТРУДЫ СЕМНАДЦАТОЙ
ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

г. Томск, 11–15 мая 2020 г.

Под редакцией В.В. Дёмина

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2020

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Атамасов, Г.И. Маленко

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент

А.А. Жуков

Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск, Россия

E-mail: grisha-9708@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты по созданию программно-аппаратного комплекса на базе прецизионного измерителя LCR Agilent E4980A и измерительной ячейки 16454A с использованием среды программирования LabVIEW для проведения автоматизированных измерений частотных зависимостей магнитной проницаемости материалов импедансным методом. Получены спектры действительной и мнимой частей магнитной проницаемости ферромагнетиков в диапазоне частот от 20 Гц до 2 МГц. Проведено сравнение результатов измерений с известными данными.

Ключевые слова: магнитная проницаемость, автоматизация процесса измерения, частотная зависимость свойств ферромагнетиков.

Введение. Измерение магнитной проницаемости веществ является важной научно-технической задачей. Создание точной и надёжной измерительной аппаратуры позволяет проводить измерения электрофизических и магнитных параметров материалов в больших частотных и температурных диапазонах.

Диэлектрическая и магнитная проницаемости являются фундаментальными параметрами веществ. Так измерений магнитной проницаемости стали может использоваться как неразрушающий способ определения её качества или износа [1, 2]. А в области георазведки по значениям данного параметра можно судить о залегающих породах [3, 4]. Проводится большое количество исследований, посвящён-

ных измерениям магнитной проницаемости в разных частотных и температурных диапазонах как широко известных, так и перспективных материалов [5].

Система программирования LabVIEW является программным продуктом, который позволяет осуществлять разработку виртуальных измерительных систем с возможностью взаимодействия с измерительным комплексом и компьютером для ввода, обработки и передачи измеряемых параметров для дальнейшего анализа результатов измерения [6].

В данной статье предложен вариант использования платформы LabVIEW, как программной основы для автоматизации измерений магнитной проницаемости материалов, совместно с прецизионным измерителем LCR Agilent E4980A, находящимся в парке измерительного оборудования центра коллективного пользования "ЦКП радиоизмерений ТГУ".

В статье приведено описание программы, реализованной в системе LabVIEW, позволяющей автоматизировать процесс измерения магнитной проницаемости материалов. Программа состоит из двух частей. Первая часть производит измерение и усреднение первичных параметров, необходимых для дальнейшего расчёта магнитной проницаемости, на калибровочных частотах прибора Agilent E4980A. Вторая часть осуществляет расчёт требуемых значений, строит спектральную зависимость действительной и мнимой частей магнитной проницаемости, а также производит запись полученных данных в текстовый файл.

Методы и материалы. В качестве объектов исследования были выбраны пять LiTiZn ферритов с различным процентным содержанием ZrO₂, чей состав и способ изготовления подробно описан в работе [7]. Геометрические размеры объектов исследований определялись параметра-

ми измерительной ячейки Keysight 16454A Magnetic Material Test Fixture.

Методика измерений предполагала измерение действительной и мнимой частей импеданса ячейки без образца и с помещённым внутрь объектом. Перед измерениями проводилась калибровка измерительного прибора при коротком замыкании и на холостом ходу для компенсации остаточного импеданса линий передач, к которым подключалась измерительная ячейка. Далее проводилось измерение первичных параметров необходимых для дальнейших расчётов. Вначале каждого измерения для всех образцов отдельно измерялся импеданс ($Z_0=R_0+iX_0$) пустой ячейки (без образца), где R_0 – действительная часть и X_0 – мнимая часть. Затем в измерительную ячейку помещался образец и измерялся импеданс ячейки с образцом $Z_S=R_S+iX_S$.

После измерения первичных параметров и их усреднения с учётом 16 измерений производится расчёт требуемых величин действительной и мнимой частей магнитной проницаемости, формулы которых были выведены из формулы комплексной магнитной проницаемости:

$$\mu = \mu' - i\mu'' = 1 + \frac{Z_S - Z_0}{if\mu_0 h \ln(D/d)}, \quad (1)$$

где μ' – действительная, μ'' – мнимая части магнитной проницаемости, i – мнимая единица, f – частота измерений, μ_0 – магнитная постоянная. h – высота, D – внешний, d – внутренний диаметры образца тороидальной формы.

За основу для создания программы расчёта магнитной проницаемости образцов тороидальной формы была взята программа с официального сайта компании производителя измерительного оборудования, созданная в среде LabVIEW. Стандартная программа была модифицирована. В неё добавился режим изменения частотной зависимости магнитной проницаемости с обязательным использованием измерительной ячейки Keysight 16454A.

Результаты. Для проверки полученных результатов был выбран метод сравнения с эталонными значениями. Как говорилось ранее, для выполнения работы и отладки программы объектами исследования являлись ферриты тороидальной формы, находящиеся на балансе центра коллективного пользования при ТГУ [7]. Результаты, представленные в работе [7], были взяты нами за эталонные значения для анализа работы программы и метода измерения в целом.

Относительная погрешность измерений относительно эталонных значений как на высоких частотах, так и на низких для всех пяти образцов составила не более 8%. Данная погрешность может быть связана с температурным дрейфом и влажностью в помещении, где проводились измерения. При этом максимальная относительная погрешность для всех образцов наблюдалась на низких частотах от 2 кГц до 10 кГц, такие результаты могут быть связаны с высокой погрешностью измерения самого прибора. Средняя относительная погрешность для указанных образцов на частотах выше 10 кГц оказалась равной 3%. Минимальные значения относительности погрешности измерения для всех образцов наблюдались на частотах выше 500 кГц.

Заключение. Результатом данной работы является создание рабочей программы для автоматизации процесса измерения спектральной зависимости комплексной магнитной проницаемости материалов тороидальной формы с использованием прецизионного измерителя Agilent E4980A и измерительной ячейки Keysight 16454A. Данная программа позволяет производить перерасчет первичных значений в требуемые параметры с последующей записью данных в файл и построением спектров. Предложенный способ значительно сокращает время проведения измерений. Анализ тестовых результатов показал возможность внедрения программы в реальный измерительный процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кули М.-Е., Джаннакис М. Оценка напряженного состояния в малоуглеродистых и TRIP-сталях по магнитной проницаемости // 5-я Международная конференция по материалам и применениям для датчиков и преобразователей (IC-MAST2015). – Миконос, Греция, 2015. – Т. 108. – С. 012013.
2. Вурна П., Ктена А. Корреляция микроструктуры с макроскопическими магнитными измерениями на электротехнических сталях // Ключевые инженерные материалы. – 2011. – Т. 495. – С. 257–260.
3. Горшков А.М. Измерения проницаемости пород баженовской свиты на заглушках и измельченном сердечнике // Международная научно-техническая конференция «Наука о Земле». – Томск, 2019. – Т. 272. – С. 032005.
4. Тейшейра Л., Брага П., Кудасик М. Измерения проницаемости сырого и брикетированного угля различной пористости при разных температурах // Материалы и исследования экспресс. – 2019. – Т. 6, № 10. – С. 105609.
5. Цин О., Чжэнкунь Л. Новый прибор для измерения проницаемости слабомагнитных материалов // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2005. – Т. 54, № 2. – С. 730–733.
6. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех: графическое программирование стало простым и увлекательным. – М. : Нью-Джерси Прентис Холл, 2009. – 1032 с.
7. Электрические и магнитные свойства лития-титана-цинка, легированного ZrO_2 ферритовая керамика / Е.Н. Лысенко, С.А. Николаева, А.П. Суржикова и др. // Ceramics International. – 2019. – Т. 45, Вып. 16. – С. 20148–20154.