

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НАЛИЧИЯ ДЕФЕКТОВ В ПРОВОДНИКАХ

В. М. Иванов¹, А. В. Лановая², Н. П. Моторина¹,
Е. О. Федосова¹, С. Фофана¹

*Кафедры: «Электроэнергетика» (1); «Высшая математика» (2),
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; IVM-tstu@mail.ru*

Ключевые слова: дефектные зоны; машинная обработка; персональный компьютер; полевые транзисторы; цифровая фотокамера; электронно-оптическая муаровая картина; электронный микроскоп.

Аннотация: С помощью машинной обработки муаровых картин выявлены топография магнитного поля плоского проводника, местонахождение дефектов, их конфигурация и размер, а также степень локальности электромагнитного поля. Показано, что информативными критериями в данном случае являются коэффициент искажения муарового изображения и фрактальная размерность муаровой картины, которые могут быть использованы для контроля проводников на наличие в них дефектных зон, а также выявления бракованных деталей радиотехники и электроники.

Основными составляющими в структуре являются системы измерения (СИ) и опознавания образов (СОО), при объединении которых получается информационная система (ИС), позволяющая реализовать процесс передачи муаровых картин на дисплей персонального компьютера (ПК) с последующей обработкой графической информации программными средствами и дальнейшего ее сохранения оператором. Рабочее место оператора представляет собой комплекс, важное место в котором занимает персональный компьютер. Структура ИС (рис. 1) включает электронный микроскоп (Э), цифровую фотокамеру (ЦФК) и ПК. Объект, создающий магнитное поле, находится в колонне электронного микроскопа, представляющего собой электронно-оптическую систему (ЭОС) [1].

Электронно-оптический преобразователь (ЭОП), являющийся экраном электронного микроскопа, формирует видимое изображение муаровых картин. По управляющему сигналу оператора осуществляется захват каждого изображения муаровых картин оптико-электронным преобразователем (ОЭП), функции которого выполняет цифровая фотокамера. Далее сигнал с ОЭП поступает на прибор с зарядовой связью (ПЗС), где хранится определенное время (до 1 мин) до момента передачи его на декодер (ДК) и репрограммируемое постоянное запоминающее устройство (РПЗУ). На декодере сигнал преобразуется в необходимый для передачи управляющий код и по двум каналам передается на программируемый порт (ПП), где по шинам передачи данных происходит дальнейшая его обработка. Сигнал, поступающий на РПЗУ, необходим для передачи изображения с экрана электронного микроскопа на видеоконтроллер (ВК) и дисплей монитора для визуального наблюдения муаровых картин. Оперативное запоминающее устройство

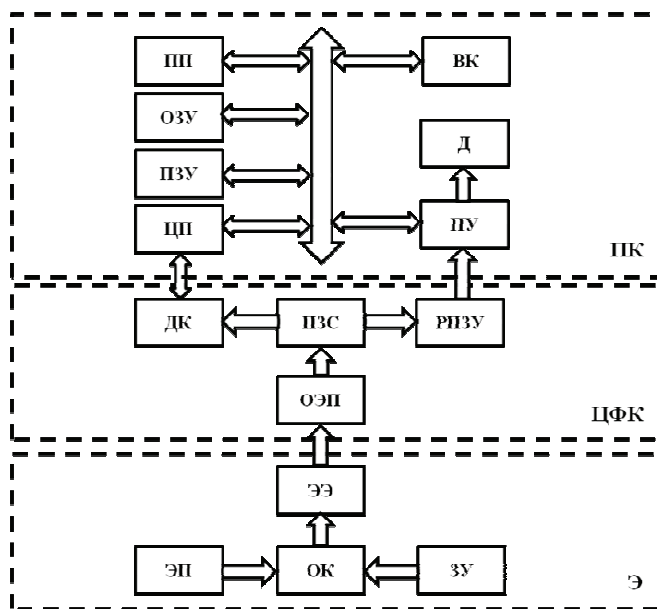


Рис. 1. Структурная схема информационной системы:

ОЗУ – основное запоминающее устройство; Д – дисплей; ЦП – центральный процессор; ЗУ – запоминающее устройство; ОК – объект контроля (источник электромагнитного поля); ЭП – электронная пушка; ЭЭ – экран электронного микроскопа

позволяет накапливать и хранить временную информацию, связанную с проходящими процессами. Обработанное видеозображение поступает на постоянно запоминающее устройство (ПЗУ), а также выводится на периферийные устройства (ПУ). По сигналу ПК цифровая фотокамера делает снимок муаровых картин с экрана электронного микроскопа и записывает его в собственную внутреннюю память. Следующим этапом является передача изображения с цифровой фотокамеры на жесткий диск ПК. Управляющие коды и передача графической информации осуществляется посредством шины USB. Контроль над изображением ведется со входа видеосигнала видеокарты. Таким образом, формируется пакет файлов графического изображения.

Обработка каждого файла из полученного пакета осуществляется разработанной программой. В результате, на экране ПК представлено окно с муаровым изображением и данными, полученными в ходе обработки графического массива по существующей программе с последующим вынесением экспертного суждения.

Система измерения служит для прямых измерений смещений электронного пучка, вызванных силой Лоренца в электромагнитном поле. На рисунке 2 представлена структурная схема сканирующей СИ, где операции получения информации выполняются последовательно во времени с помощью одного

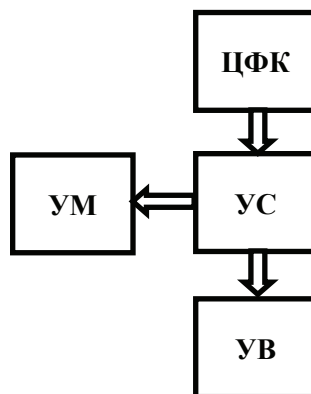


Рис. 2. Структурная схема сканирующей системы измерения:

УС – устройство сравнения измеряемой величины и образцовой меры; УМ – устройство, формирующее образцовую меру; УВ – устройство формирования и выдачи результата измерения

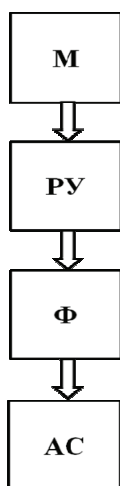


Рис. 3. Структурная схема системы опознавания образов:

М – муаровая картина; PY – рецепторное устройство; Ф – фильтр; АС – ассоциирующая система

канала измерения. Система работает следующим образом: сигнал с цифровой фотокамеры поступает на ПК, где хранится значение образцовой меры (муаровая картина бездефектного образца). Программа пересчета данных приводит сравнение сигналов и выдает результат измерения на дисплей с одновременным сохранением его в запоминающем устройстве.

Система опознавания образов (СОО) предназначена для определения соответствия между исследуемым объектом и образцом-эталонем. Объектом и образцом в данном случае являются муаровые картины. На рисунке 3 представлена структурная схема СОО. Муаровая картина, полученная на экране электронного микроскопа, попадает на рецепторное устройство ПЗС, находящийся в цифровой фотокамере, где формируется изображение. Рецепторное устройство без искажений передает изображение на экран дисплея, где происходит его дальнейшая обработка.

Персональный компьютер организован по принципу блочной структуры, представленной на рис. 4. Основным устройством ПК является материнская плата, которая определяет его конфигурацию. Все устройства ПК подключаются к этой плате с помощью разъемов, расположенных на ней. Соединение всех устройств в единую систему обеспечивается с помощью системной шины, представляющей собой линии передачи данных, адресов и управления. Ядро ПК образуют процессор (центральный микропроцессор) и основная память. Подключение всех внешних устройств: монитора, клавиатуры, внешних ЗУ, мыши, принтера, цифровой камеры и т.д. обеспечивается через контроллеры.

Передача картинки с экрана электронного микроскопа на компьютер осуществляется посредством цифровой фотосъемки. Для передачи данных на компьютер в камере используется USB-интерфейс. Цифровая камера сохраняет изображение в цифровом формате на специальных носителях. Сердцем любого цифрового фотоаппарата является светочувствительная матрица. Она выполняет функцию оцифровки параметров света на ее поверхности. На сегодняшний день в циф-



Рис. 4. Структурная схема персонального компьютера

ровой фототехнике применяются устройства, использующие матрицу CMOS, и устройства, использующие матрицу CCD.

Матрица CMOS – микросхема, созданная на основе полевых транзисторов с изолированным затвором с каналами разной проводимости.

Матрица CCD – микросхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов и созданная на кремниевой основе; в основе работы лежит принцип действия прибора с зарядовой связью.

Ключевая разница между матрицами CMOS и CCD состоит в совершенно разных принципах работы: CCD оцифровывает полученную аналоговую картинку, CMOS – сразу каждый пиксель изображения. Электрический заряд в пикселях (светодиодах) CCD-матрицы преобразуется в электрический потенциал, усиливается в аналоговом усилителе за пределами светочувствительного сенсора и только потом оцифровывается посредством аналогово-цифрового преобразователя. Электрический заряд в пикселях CMOS-матрицы накапливается в конденсаторах, с которых снимается электрический потенциал, передается в аналоговый усилитель и оцифровывается посредством такого же преобразователя. Некоторые новые CMOS-матрицы снабжены усилителями аналогового сигнала, встроенными непосредственно в пиксель.

Разработано программное обеспечение информационной системы, позволяющее автоматизировать процессы получения муаровых картин и обработки их изображений по заданным критериям: коэффициенту искажения и фрактальной размерности этих картин.

Программное обеспечение было выполнено при помощи Qt – это кроссплатформенный инструментальный разработчик ПО на языке программирования C++, позволяющий запускать написанное с его помощью ПО в большинстве современных операционных систем путем простой компиляции программы для каждой ОС без изменения исходного кода и включающий в себя все основные классы, которые могут потребоваться при разработке прикладного программного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса и заканчивая классами для работы с сетью, базами данных и XML. Данный инструментальный Qt является полностью объектно-ориентированным, легко расширяемым и поддерживающим технику компонентного программирования.

Отличительная особенность Qt от других библиотек является использование Meta Object Compiler (МОС) – предварительной системы обработки исходного кода, что позволяет во много раз увеличить мощь библиотек, вводя такие понятия, как слоты и сигналы. Кроме того, это позволяет сделать код более лаконичным.

Блок-схема интерфейса программы представлена на рис. 5. Процедура обработки графического изображения осуществляется по следующему алгоритму:

- выбирается графический файл по номеру исследуемого объекта после захвата изображения с экрана электронного микроскопа;
- переводится картинка в черно-белый формат [2];
- определяется число черных пикселей всего изображения [3];
- производится расчет коэффициента искажения, фрактальной размерности [4].

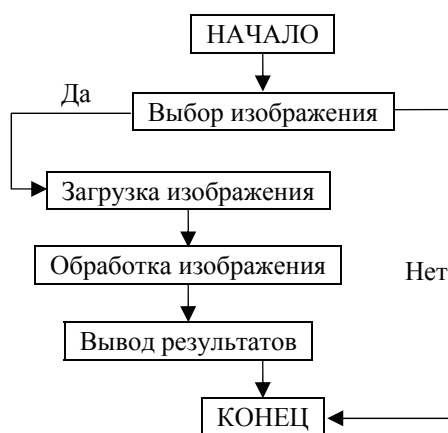


Рис. 5. Блок-схема интерфейса программы

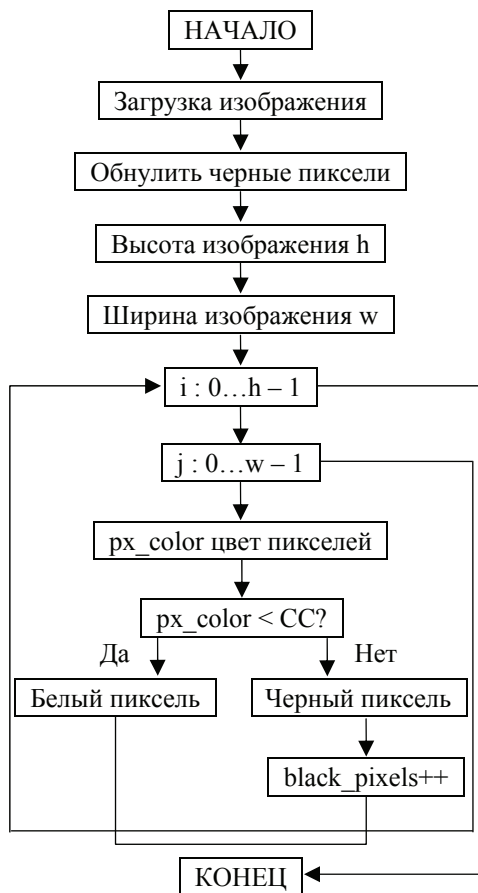


Рис. 6. Блок-схема перевода картинки в черно-белый формат и пересчета черных пикселей

Пиксель – наименьший элемент поверхности рисунка, с которым можно проводить манипуляции. Координаты измеряются в пикселях.

Блок-схема функции `analyze_image` (перевода картинки в черно-белый формат и пересчета черных пикселей) представлена на рис. 6. Загружаем картинку. Изменяем надписи на панели и обнуляем счетчик черных пикселей. Организуем цикл по всей картинке. Проверяем условие: составляющая цвета < CC (CC выбираем согласно [5]) и если условие выполняется, считаем пиксел черным, увеличиваем счетчик и повторяем цикл. В противном случае считаем пиксел белым и повторяем цикл. Программа заканчивает работу после перевода всех пикселей в черно-белый формат.

Следует отметить, что изображение муара получается очень насыщенным (256 000 оттенков серого цвета), а для вычисления информационных критериев необходимо два цвета: черный и белый. Поэтому изображение должно пройти фильтрацию, заключающуюся не только в подавлении шумов, но и в подготовке к последующему анализу.

Заключение

Предложена информационная система наличия дефектных зон в проводниках по концентрации в них электромагнитных полей, нарушению симметрии и изменению фрактальной размерности на электронно-оптических муаровых картинах. Разработана методика экспериментального обнаружения дефектных зон в проводниках, основанная на машинной обработке с применением предложенных аппаратных средств и программного обеспечения.

Список литературы

1. Иванов, В. М. Электронно-оптический муар в исследовании электрических и магнитных полей / В. М. Иванов, С. Фофана // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 117 – 128.
2. Иванов В. М. Математические модели в исследовании электромагнитных полей на электронно-оптических муаровых картинах / В. М. Иванов, С. Фофана, Е. Б. Винокуров ; под общ. ред. А. А. Большакова // Сб. ст. Междунар. конф. «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-27). – 2014. – С. 93 – 99.

3. Иванов, В. М. Диагностика электротехнических материалов по электронно-оптическим муаровым картинам / В. М. Иванов, С. Фофана // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 18, № 4-2. – С. 1936.

4. Иванов, В. М. Оценка качества изделий электроники теньвым электронно-оптическим методом / В. М. Иванов, С. Фофана // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 18, № 4-2. – С. 1935.

5. Иванов В. М. Фильтрация изображений муаровых картин, полученных на основе электронно-оптических эффектов / В. М. Иванов, А. Н. Уваров, Д. Н. Лимонов // Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования : материалы докл. VII Всерос. науч.-техн. конф., Тамбов, 27 – 29 апр. 2004 г. / Тамб. высш. авиац.-инженер. ин-т. – Тамбов, 2004. – Ч. 1. – С. 46 – 51.

Information System for Detecting Defects in Conductors

V. M. Ivanov¹, A. V. Lanovaya², N. P. Motorina¹,
E. O. Fedosova¹, S. Fofana¹,

*Departments: “Power Engineering” (1); “Higher Mathematics” (2)
TSTU, Tambov, Russia; IVM-tstu@mail.ru*

Keywords: defective areas; digital camera; electron microscope; field effect transistors; machine processing; Optical-electronic moiré pattern; personal computer.

Abstract: The computer processing of moiré patterns revealed the topography of the magnetic field of a flat conductor, the location of defects, their configuration and size, and the degree of localization of the electromagnetic field. The informative criteria in this case were the distortion factor of the moiré image and the fractal dimension of the moiré pattern, which can be used to detect defective areas in conductors, and identify defective components in radio equipment and electronics.

References

1. Ivanov V.M., Fofana S. [Electro-Optical Moiré in the Study of Electric and Magnetic Fields], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 1, pp. 117-128. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Ivanov V.M., Fofana S., Vinokurov E.B. [Mathematical models in the study of electromagnetic fields on the electron-optical moire patterns], *Sb. statei Mezhdunarodnoi konferentsii “Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh” (MMTT-27)* [Coll. articles of the International. Conf. “Mathematical Methods in Engineering and Technology” (MMTT-27)], 2014, pp. 93-99. (In Russ.)

3. Ivanov V.M., Fofana S. [Testing of electrotechnical materials on electron optical moire pictures], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2013, vol. 18, no. 4-2, p. 1936. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Ivanov V.M., Fofana S. [Test quality of electronic devices with shadow electron optical method], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2013, vol. 18, no. 4-2, p. 1935. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Ivanov V.M. Uvarov A.N., Limonov D.N. *Povyshenie effektivnosti sredstv obrabotki informatsii na baze matematicheskogo modelirovaniya* : *materialy dokl.*

Vseros. nauch.-tekhn. konf. [Improving the efficiency of information processing tools based on mathematical modeling : proceedings of the 7th All-Russian Scientific and Technical Conference], Tambov, 27-29 April, 2004, Tamb. vyssh. aviats.-inzhener. in-t., Tambov, 2004, part 1, pp. 46-51. (In Russ.)

Informationssystem des Vorhandenseins der Defekte in den Leitern

Zusammenfassung: Mit Hilfe der mechanischen Bearbeitung der Moirebilder zeigt sich die Topografie des magnetischen Feldes des flachen Leiters, die Lage der Defekte, ihre Konfiguration und die Größe, sowie die Stufe der Lokalität des elektromagnetischen Feldes. Die informativen Kriterien sind der Koeffizient der Entstellung der Moireabbildung und die Fraktaldimension des Moirebildes, die in der Kontrolle der Leiter auf das Vorhandensein in ihnen der defekten Zonen, sowie der Aufspürung der Fehlstücke der Radiotechnik und der Elektronik verwendet sein können.

Système informatique de la présence des défauts dans les conducteurs

Résumé: A l'aide du traitement mécanique des images de moire sont révélés la topographie du champ magnétique du conducteur plat, l'emplacement des défauts, leur configuration et leur taille ainsi que le niveau de la localité du champ électromagnétique. Les critères informatiques sont dans ce cas le facteur de distorsion de l'image de moire et la dimension fractale de l'image de moire qui peuvent être utilisés dans le contrôle des conducteurs sur la présence des zones défectueuses ainsi que l'identification des pièces défectueuses de la radiotechnique et de l'électronique.

Авторы: *Иванов Владимир Михайлович* – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика»; *Лановая Анна Владимировна* – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры «Высшая математика»; *Моторина Наталья Петровна* – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика»; *Федосова Екатерина Олеговна* – магистрант; *Фофана Синду* – соискатель кафедры «Электроэнергетика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Федоров Виктор Александрович* – доктор физико-математических наук, профессор института математики, естествознания и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия.