

тыре типа измерительных преобразователя температуры и влажности, обеспечивающие преобразование измеряемых величин в нормированное значение постоянного напряжения или силы тока – ПИТ01, ПОВТ01, ПОВТ01А, ПОВТ2. Эти преобразователи применяются в настоящее время в ряде метеорологических комплексов, а также при испытаниях технических средств.

В 2011 – 2016 гг. предприятием был создан и освоен в производстве также ряд приборов, предназначенных для использования для организации учебного процесса и оборудования лабораторий в высших и средних учебных заведениях, в том числе:

– комплекс учебный лабораторный КУЛ-1, совмещающий в одном конструктиве 4,5-разрядный мультиметр, генератор-частотомер и четырехканальный источник питания;

– комплект приборов для демонстрации опытов и проведения лабораторных работ, состоящий из демонстрационного мультиметра-тес-

тера, демонстрационного осциллографа-генератора, демонстрационного СВЧ приемника-передатчика и высоковольтного источника напряжения;

– программно-аппаратный комплекс с комплектом датчиков для кабинетов физики;

– программно-аппаратный комплекс с комплектом датчиков для кабинетов химии.

В выполнении заданий ГНТП «Радиоэлектроника-2» приняли участие более 20 организаций промышленности, отраслевой, академической и вузовской науки.

Начиная с 2016 года, выполняется новая ГНТП «Радиоэлектроника-3», цели и задачи которой аналогичны целям и задачам завершенной программы. Участие в выполнении этой программы учреждений образования и науки будет способствовать решению одной из основных задач программы – повышению конкурентоспособности и научно-технического уровня продукции отечественного приборостроения.

УДК 620.179.14

## АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

Куц Ю.В., Лысенко Ю.Ю., Дугин А.Л.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
Киев, Украина*

Вихретоковый неразрушающий контроль (ВТНК) широко применяется в различных областях науки и техники благодаря высокой эффективности и надежности получаемых решений задач дефектоскопии, контроля качества материалов и изделий, определения параметров и характеристик объектов контроля (ОК) различного назначения и в различных предметных областях. С целью улучшения и усовершенствования методов и средств ВТНК исследуют и применяют новые вихретоковые преобразователи (ВТП), имеющие более сложную конструкцию, совершенствуют способы возбуждения вихревых токов, применяют новые методы обработки информационных сигналов ВТП и т.д.

Сегодня наибольшее развитие получили методы ВСНК, ориентированные на использование гармонических сигналов для возбуждения вихревых токов в ОК. В этом случае электрофизические характеристики материалов и геометрические параметры ОК определяются через такие параметры информационных сигналов ВТП как амплитуда и фазовый сдвиг. Анализ информационных сигналов ВТП и интерпретация результатов контроля усложняется за счет действия ряда мешающих факторов, среди которых наиболее опасными являются зазор между ВТП и ОК, вариация электромагнитных свойств металла, кривизна и шероховатость поверхности ОК, внешние и аппа-

ратурные шумы и помехи различной природы [1].

Чаще всего ВТНК реализуется за счет возбуждения вихревых токов гармоническими сигналами одной частоты, что теоретически допускает определение двух параметров системы ВТП-ОК. Параметры и характеристики ОК определяют через их воздействие на амплитуду и фазовый сдвиг сигнала ВТП относительно сигналов возбуждения вихревых токов. Для расширения функциональных возможностей ВТНК рассматривают применение других режимов возбуждения вихревых токов и осуществляют поиск и анализ других информативных параметров (ИП). Один из таких направлений исследования связан с использованием импульсного режима возбуждения в ОК вихревых токов. Совершенствование методов обработки сигналов импульсного ВТНК связано с поиском новых ИП сигналов ВТП, повышением достоверности контроля, поиском способов уменьшения влияния различных мешающих факторов, действующих в системе ВТП – ОК, реализацией многопараметрового контроля, и расширением функциональных возможностей ВТНК. Таким образом, развитие методов и средств импульсного ВТНК является важным направлением развития этого вида контроля.

Анализ современных исследований импульсного ВТНК показывает, что в качестве ИП наибо-

лее часто используют пиковое значение амплитуды сигнала – в дефектоскопии однослойных конструкций с целью увеличения глубины проникновения вихревых токов [2], дефектоскопии многослойных конструкций [3], дефектоскопии отверстий клепочных соединений в авиационной [4]. Известны системы с комбинированным использованием гармонического и импульсного режимов возбуждения электромагнитного поля [5]. В таком случае при обработке информационного сигнала ВТП используют дополнительные ИП сигналов ВТП - затухание и положения во времени точки пересечения нулевого уровня этим сигналом.

В докладе рассмотрены экспериментальные результаты решения задачи дефектоскопии и дефектометрии алюминиевых листов. Было выполнено сканирование ОК с моделями трещин разной глубины и реализацией в режиме импульсного возбуждения ВТП. В качестве ОК была использована алюминиевая пластина с трещинами разной глубины (от 0.1 мм до 3мм) и шириной раскрытия 1мм (рисунок 1).

Разработанная система ВТНК включала накладной трансформаторный мульти дифференциальный ВТП, цифровой осциллограф (вертикальное разрешение 12 бит, частота выборки 500 МГц, динамический диапазон 60 МГц), цифровой интерфейс, персональный компьютер с необходимым программным обеспечением (Matlab). На первичную катушку ВТП поступал возбуждающий импульсный сигнал от генератора, встроенного в цифровой осциллограф, амплитуды  $U = 5 В$ , периодом повторения  $T_n = 50 мкс$ , продолжительностью  $\tau = 175 нс$ . Сигнал со вторичной обмотки ВТП представлял собой затухающие гармонические колебания. Колебания вызывались индуктивностью катушек ВТП и их межвитковой емкостью (рисунок 2). Информационный сигнал поступал на цифровой осциллограф для аналого-цифрового преобразования и передавался в персональный компьютер для дальнейшей обработки.



Рисунок 1 – Исследуемый образец

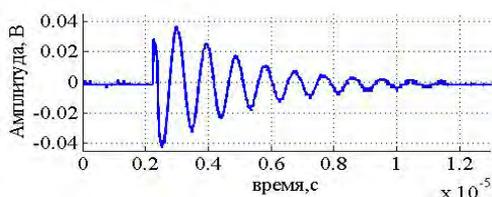


Рисунок 2 – График участка сигнала ВТП

Используемое ПО реализует методику обработки сигналов ВТП с анализом сигнала во временной области на основе использования преобразования Гильберта [6]. Такая методика дает возможность использовать в качестве ИП затухание сигнала ВТП и его частоту. В работах [7, 8] показано, что эти параметры можно использовать для оценки удельной электропроводности материала ОК, его диаметр, толщину диэлектрического покрытия.

В данной работе совместно с используемыми ранее ИП рассматривалось и пиковое значение амплитуды информационного сигнала. По результатам сканирования ОК (рисунок 3а) с шагом 0.1мм было получено набор сигналов ВТП, и которых были выделены максимальные пиковые значения амплитуды. Распределение пиковых значений напряжения на поверхности ОК представлено на рисунке 3б. Из анализа этого распределения видно, что появление трещины в ОК приводит к существенному увеличению амплитуды напряжения непосредственно возле нее, но уменьшению над самой трещиной.

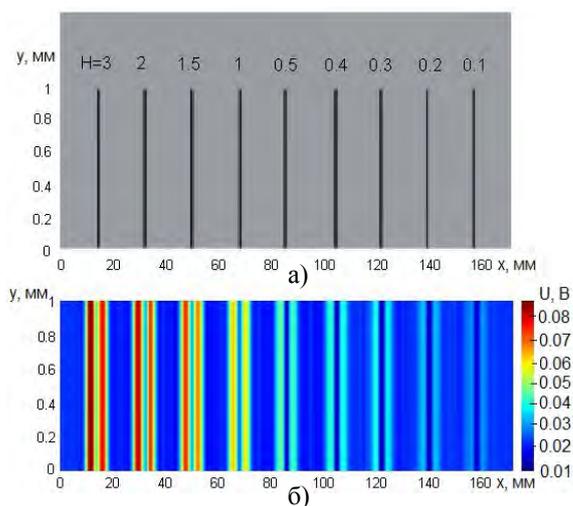


Рисунок 3 – Исследуемый образец (а) и распределение пиковых значений напряжения ВТП (б)

Используя зависимость амплитуды от глубины трещины можно в некоторых случаях расширить задачу дефектоскопии – оцениванием глубины трещин. Таким образом, ВТНК с импульсным возбуждением в сочетании с цифровой обработкой информационных сигналов на основе дискретного преобразования Гильберта может существенно дополнить известные методы за счет возможности анализа таких параметров сигналов как частота собственных колебаний, пиковое значение амплитуды, декремент сигнала и временное положение характерных точек сигнала. В докладе приведены методика и показана ее реализация на примере обработки сигналов импульсного ВТНК для задачи контроля алюминиевой пластины с

трещинами различной глубины.

1. Тетерко А.Я. Селективна вихрострумова дефектоскопія / А.Я. Тетерко, З.Т. Назарчук; НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка. – Л., 2004. – 247 с.
2. Cadeau T. Pulsed eddy current probe desing based on transient circuit analysis / T.J. Cadeau, T.W. Krause // Review of Quantitative NDE. – 2009. – vol. 28. – pp. 327-334.
3. Неразрушающий контроль. Кн. 3. Электромагнитный НК / Под ред. В.В. Сухорукова – М.: Высшая школа, 1992, – 320с.
4. Yang G. Pulsed Eddy-Current Based Giant Magnetoresistive System for the Inspection of Aircraft Structures / G. Yang, A. Tamburrino, L. Udpa, S. Udpa // IEEE Trans. Magn. – 2010. – vol. 46, no. 3. – pp. 910-917.
5. Vasic D. Pulsed Eddy-Current Nondestructive Testing of Ferromagnetic Tubes / D. Vasic, V. Bilas, D. Ambrus // IEEE Trans. Instrum.

Meas. – 2004. – vol. 53, no. 4. – pp. 1289-1294.

6. Методика обработки сигналов в системах импульсной вихретоковой дефектоскопии: материалы VIII Междунар. научн.-техн. конф. «Приборостроение - 2015», 25 - 27 ноября 2015 г., Минск, Республика Беларусь / БНТУ ПБФ — Минск, 2015. — Т. 1, 322 с.
7. Lysenko I. Improvement of the Eddy Current Method of Non-Destructive Testing with Pulsed Mode Excitation [Electronic resource] / I. Lysenko, Y. Kuts, O. Dugin, A. Protasov // The e-Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – № 7, Vol. 21. – Access mode: <http://www.ndt.net>.
8. Лисенко Ю. Ю. Застосування накладних перетворювачів в імпульсному вихрострумовому контролі / Лисенко Ю. Ю., Куц Ю. В., Протасов А.Г., Дугін О.Л. // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. – 2016. – Вип. 52. – С. 58–63.

УДК 621.317.799:621.382

## МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ КОММУТАТОРОМ

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.

Открытое акционерное общество «МНИПИ», Минск, Республика Беларусь

Матричные коммутаторы широко применяются в автоматизированных системах измерения и контроля параметров полупроводниковых приборов (ПП). Они используются для выбора тестируемого ПП и подключения к нему источников и измерителей электрических сигналов.

Основу матричного коммутатора составляют ключи, расположенные в перекрестиях строк (A, B, C, D, ...) и колонок (1, 2, 3, 4, ...) коммутатора. Замыкание определенных ключей обеспечивает подключение измерительных приборов, каждый из которых присоединен к определенной строке, к интересующему электроду ПП, присоединенному к одной из колонок.

В простейшем случае, при тестировании двухполюсника (диода), присоединенного к колонкам 2 и 4 коммутатора, с помощью источника тока, присоединенного к его строкам A и B, и измерителя напряжения, присоединенного к его строкам C и D, блок управления замыкает ключи A2, B4 и C2, D4, которые выбирает оператор на основании измерительной схемы, представленной на рис. 1, при формировании теста.

При контроле трех- и четырехполюсников подготовка программы тестирования в части управления матричным коммутатором существенно усложняется. Это связано с тем, что для каждого теста составляется измерительная схема, отображающая связи множества (до 8ми) измерительных приборов с электродами тестируемого

ПП. На основании такой схемы определяют, в каких узлах матрицы должны быть замкнуты ключи при выполнении данного теста

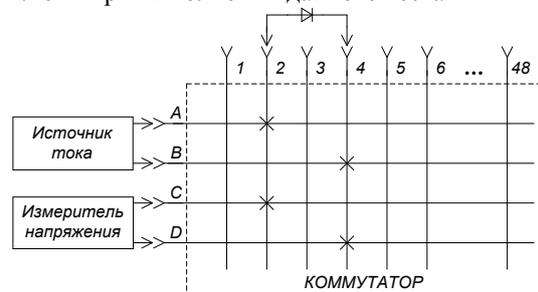


Рисунок 1 – Измерительная схема для матричного коммутатора при тестировании диода: × – замкнутые узлы

С целью исключения возможных ошибок при определении узлов матричного коммутатора, которые должны быть замкнуты в выбранном тесте, сложные измерительные схемы необходимо определенным образом визуализировать и документировать. Современные матричные коммутаторы снабжены устройствами индикации, которые отображают все узлы матричного коммутатора и позволяют выделить, светом или цветом, узлы с замкнутыми ключами. При этом, известные устройства индикации состояния матричного коммутатора весьма сложны и громоздки с точки зрения решаемой задачи.