

*А. П. ДАВИДЕНКО*, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;  
*Е. А. ПАНЧЕНКО*, студент, НТУ «ХПИ»

## **ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНЫЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ПЛОСКИХ ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

Рассмотрен метод контроля плоских материалов (пленок, листов) и химических растворов. Данный метод реализуется с помощью набора подводящих линий (проводников), которые лежат в двух параллельных плоскостях и являются ортогональными по отношению друг к другу. На основе данных измерений комплексной проводимости строится график поверхности, который дает возможность обнаружить нарушения и дефекты в структуре исследуемого материала. Построена имитационная модель плоского проводящего материала с помощью программного пакета Multisim. На имитационной модели проводящего материала были поставлены опыты, результаты которых подтвердили действенность рассмотренного метода.

**Ключевые слова:** метод контроля, плоский материал, имитационная модель, элементарный объем, поверхность.

**Введение.** В неразрушающем контроле (НК) существует большое разнообразие методов и способов диагностики различных объектов контроля (ОК). Центральным вопросом данной статьи является дефектоскопия плоских проводящих ОК. Подобные задачи возникают при производстве и контроле функциональных тонких пленок, электрохимической бумаги, проводящих полимеров и металлической фольги для использования в микросхемах и электронных платах, а также при дефектоскопии композитов из углеродистого волокна. Для решения данной задачи возможно использование таких видов НК, как магнитный, вихретоковый, радиоволновой и радиационный.

**Анализ литературы.** Основные подходы для решения поставленной задачи приведены в [2, 3, 4].

**Цель статьи.** Рассмотрение способа реализации электроимпедансного метода при диагностике плоских проводящих материалов, описание имитационной модели процессов, анализ результатов поставленных опытов на имитационной модели.

**Постановка проблемы.** Рассматриваемый электроимпедансный метод входит в группу электропараметрических методов электрического НК, основанных на создании в контролируемом объекте электрического поля, непосредственным воздействием на него электрическим возмущением, (например, электростатическим полем, полем постоянного или переменного стационарного тока). В качестве первичного информативного параметра используются электрические характеристики объекта контроля [1].

Сущность электроимпедансного метода заключается в контроле технического состояния ОК путем измерения значения его импеданса или адмитанса в широком диапазоне частот.

Для этого через контролируемый участок ОК пропускают электрический ток, и по полученному значению электрического сопротивления судят о геометрических размерах ОК, наличии и местоположении дефектов, а также о размерах параметрах этих дефектов [2].

В большинстве случаев для дефектоскопии плоских ОК применяются методы, основанные на перемещении либо измерительного механизма, либо самого исследуемого объекта. Рассматриваемый метод измерения позволяет проводить анализ без перемещения каких-либо частей измерительной схемы. На рисунке 1 представлена реализация данного метода.

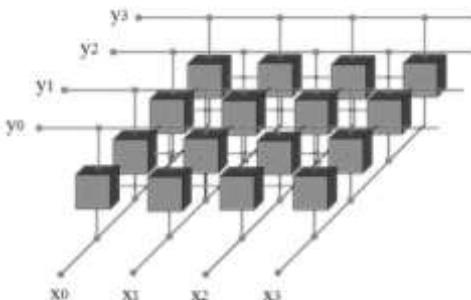


Рис. 1 – Реализация электроимпедансного метода НК

Между двумя наборами токоподводящих электродов, которые располагаются перпендикулярно друг другу, образуя сетку, помещается плоский ОК. Это позволяет обследовать все пространство между наборами электродов, определяя распределение проводимостей между каждой парой скрещивающихся электродов. О наличии и местоположении дефекта можно судить по существенному изменению (всплеску) значения электрического импеданса при сканировании ОК с экстремумом, соответствующим нахождению дефекта в точке скрещивания потенциальных электродов.

Математическое описание распределения плотности тока в электропроводящем объекте при подключении к нему потенциальных электродов может быть получено путем решения краевой задачи с использованием уравнений Максвелла с определенными граничными условиями. Аналитическое решение данной задачи является весьма затруднительным, и в практике НК находится, как правило, с учетом ряда допущений на основании методов имитационного, физического и математического моделирования. Цель решения данной задачи – оптимизация параметров контроля, в частности, расстояний между потенциальными электродами. Выбор указанных параметров непосредственно влияет на метрологические характеристики метода при измерении геометрических параметров ОК и его дефектов, прежде всего, на чувствительность и точность измерения [3].

Для исследования данного метода была построена имитационная модель. Анализ специализированной литературы показал, что сплошную среду

электрической модели можно заменить, допуская известную степень приближения, большим числом элементарных объемов, составленных из сопротивлений [4]. На рисунке 2 изображен элемент из шести сопротивлений, заменяющий параллелепипед, вырезанный из сплошной среды, который является элементом электрической модели.

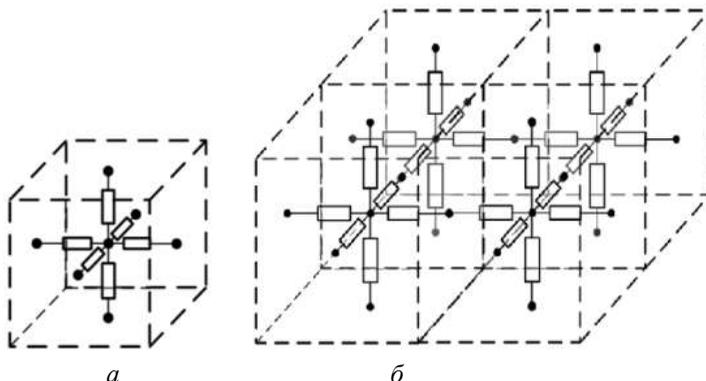


Рис. 2 – Элементарный объем электрической модели (а) и фрагмента ОК (б)

На рисунке 3 изображена имитационная модель элементарной ячейки и фрагмента модели ОК, которые построены с помощью программы Multisim. Фрагмент ОК представляет собой сетку размерами 2x2 элементарных объема.

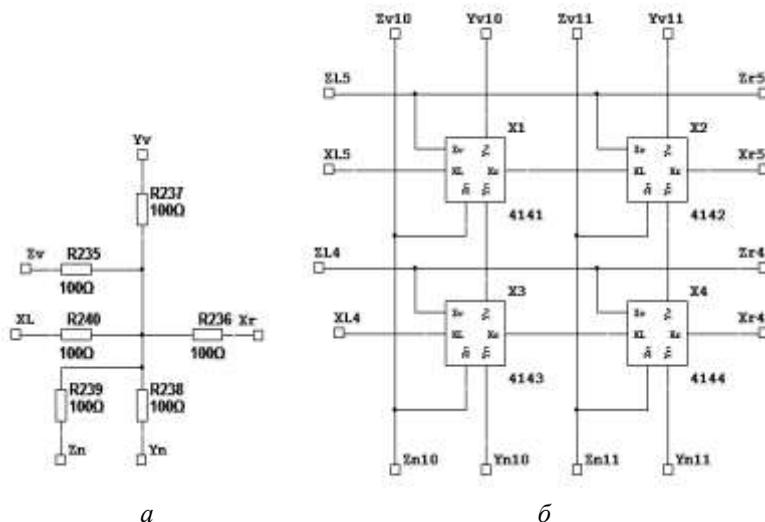


Рис. 3 – Имитационная модель элементарной ячейки (а) и фрагмент модели ОК размером 2x2 элементарных объема (б)

**Результаты исследований.** На представленной имитационной модели был поставлен ряд опытов, изложенных ниже.

Опыт 1. Имитационная модель ОК состоит из 256 ячеек, то есть из  $16 \times 16$  элементарных объемов. Значения сопротивлений резисторов в каждой ячейке равны, поэтому материал ОК можно считать однородным. В каждой такой ячейке было произведено измерение токов. После по полученным значениям был построен график поверхности, который изображен на рисунке 4.

На расстоянии трех ячеек от края наблюдается влияние краев ОК на распределение электрической проводимости.

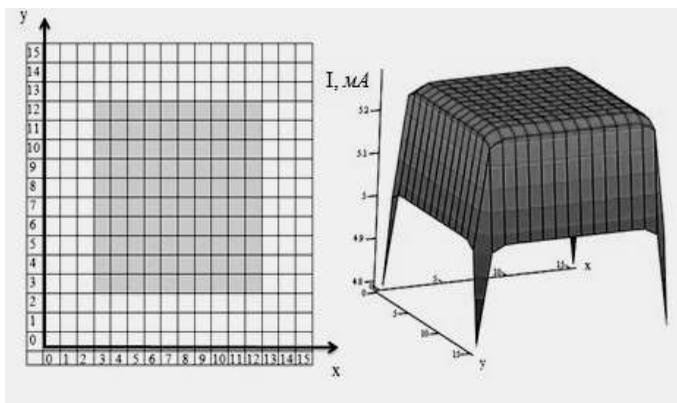


Рис. 4 – Результаты опыта 1

График распределения токов для центральной части объекта контроля представленный на рис. 5 позволяет исключить краевые эффекты.

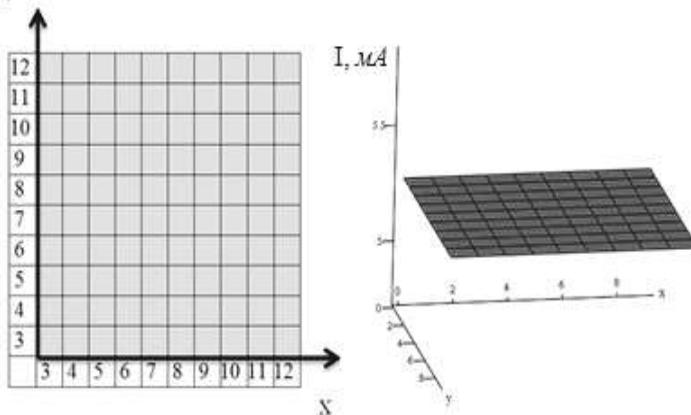


Рис. 5 – График распределения токов в центральной части для однородного ОК

Опыт 2. В одной из ячеек сопротивление было увеличено на 20 %. На графике, приведенном на рисунке 6 можно наблюдать всплеск в области ячейки с повышенным сопротивлением. Сопротивление увеличивается, следовательно, проводимость падает. Обратный эффект возникает при понижении сопротивления ячейки на 20 %.

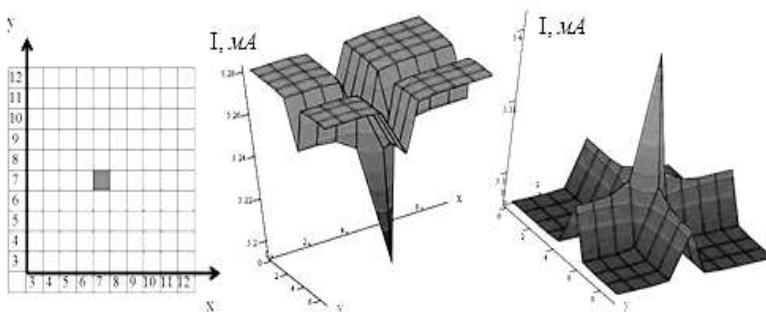


Рис. 6 – Результаты опыта 2

Опыт 3. В данном опыте изменялись 3 ячейки, но изменения вносились с разными знаками. Две ячейки были меньше на 20%, а одна была на 20 % больше. График приведен на рисунке 7.

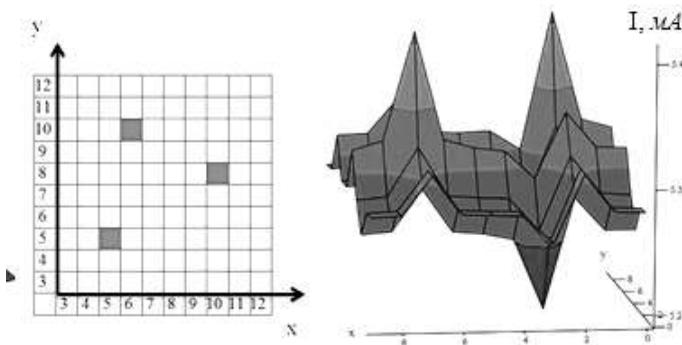


Рис. 7 - Результаты опыта 3

Дискретность получаемой характеристики увеличивает погрешность измерений, т.к. электрическое поле действует не только на элементы находящиеся непосредственно в точке между скрещивающимися линиями, но и на элементы находящиеся вблизи этой точки. Следовательно, в результате измерения будут учитываться проводимости этих частиц. Результирующая характеристика получается дискретной и данные о частицах, находящихся между «узлами» сетки могут быть утеряны. Поэтому следует выбирать оптимальное расстояние между электродами, при котором можно с минимальной

погрешностью определять проводимость зон между точками скрещивания с помощью снятых с ближайших точек. Речь идет о соизмеримости шага сетки с размерами и расположением возможных дефектов. Схемная реализация измерительной системы, может быть осуществлена с помощью аналоговых коммутаторов, которые выбирают одну из пар  $x$ - и  $y$ -линий, между которыми измеряется проводимость.

Конструктивно возможно выполнить измерительную сетку с микронным шагом, и коммутаторы в одной микросхеме.

**Выводы.** Получены результаты, показывающие возможность применения метода для контроля однородности пленок и обнаружения дефектов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на определение разрешающей способности метода, анализ чувствительности; исследование трехмерной модели объемных тел; установление соотношений между шагом сетки и параметрами ОК; проведение реальных экспериментов с различными материалами.

**Список литературы:** 1. ГОСТ 25315-82 Контроль неразрушающий электрический. Термины и определения. 2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 5: Кн. 2: К. В. Подмастерьев и др. Электрический контроль. – М.: Машиностроение, 2006. – 679 с: ил. 3. Х.Гулд, Я.Тобочник "Компьютерное моделирование в физике", В 2-х частях, Часть первая. М., Мир, 1990.–400 с. 4. Е. Н. Макиевцов "Модели из кубиков". М: Сов. Радио, 1978.– 192 с., ил. **Bibliography (transliterated):** 1. GOST 25315-82 Kontrol' nerazrushajushhij jelektri-cheskij. Terminy i opredelenija. 2. Nerazrushajushhij kontrol': Spravochnik: V 8 t. Pod obshh. red. V. V. Kljueva. T. 5: Kn. 2: K. V. Podmaster'ev i dr. Jelek-tricheskiy kontrol'. – M.: Mashinostroenie, 2006. – 679 s: 3. H.Guld, Ja.Tobochnik "Komp'juternoe modelirovanie v fizike", V 2-h chastjah, Chast' pervaja. M., Mir, 1990.–400 s. 4. E. N. Makievcov "Modeli iz kubikov". M: Sov. Radio, 1978.– 192 s.

*Поступила (received) 16.01.2014*