

УДК 537

Д.Я. СУХАНОВ, М.А. ГОНЧАРИК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ОБЪЕКТА ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ ВОЗМУЩЕНИЙ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Предлагается метод определения формы плоского электропроводящего объекта на основе измерений искажений магнитного поля самоскомпенсированной магнитной катушки. Катушки имеют такую форму, что в центре не создают магнитное поле, однако создают его в остальных точках пространства. Измерение поля производится в центре катушек. Внесение металлического объекта приводит к искажению поля и его ненулевым значениям в центре катушки. Путём проведения измерений в плоскости вблизи от исследуемого объекта осуществляется восстановление его изображения.

Ключевые слова: индукционный ток, магнитная дефектоскопия, квазимагнитостатика.

Введение

Существующие в настоящее время магнитоиндукционные методы позволяют обнаруживать металлические объекты на расстояниях до нескольких метров. Наиболее распространенным приёмом для определения положения металлического объекта является последовательное сканирование пространства источником слабопеременного магнитного поля и совмещённого с ним измерителя магнитного поля. По искажениям магнитного поля, вносимым металлическими объектами, определяется близость объекта к измерительной системе, чем ближе объект, тем сильнее искажения, вносимые им. Вихретоковая дефектоскопия позволяет определять положение электропроводящего объекта или дефекта в металлических конструкциях [1–3].

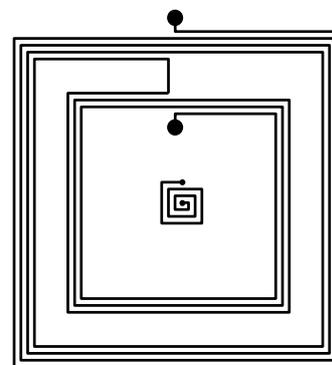
В данной работе рассматривается возможность применения самоскомпенсированных магнитных катушек для визуализации электропроводящих объектов.

Самоскомпенсированный источник магнитного поля

В качестве самоскомпенсированного источника магнитного поля предлагается использовать две плоские спиральные катушки разного размера и размещённые в одной плоскости с совмещёнными центрами таким образом, что они создают противоположные векторы магнитной индукции в своём центре (рис. 1). Измерительная катушка будет размещаться в центре. Таким образом, при отсутствии искажений поля объектами в среде в приёмной катушке не будет наводиться индукционный ток. Предложенную систему катушек назовём приёмопередающим модулем.

Поля спиральных катушек рассчитываются на основе дифференциального закона Био – Савара – Лапласа. Сначала рассчитывается поле от прямолинейных проводников путём интегрирования, а затем суммируются поля от всех прямолинейных проводников. Поле прямолинейных проводников можно вычислить аналитически. Поскольку катушка-источник состоит из одного провода, то ток в ней одинаков на всех участках.

Считаем, что ток в катушке-источнике гармонический с частотой порядка единиц килогерц, следовательно, магнитное поле, создаваемое катушкой переменное, и может наводить токи в электропроводящих объектах. Будем считать, что в пространстве находится электропроводящий объект. Токи, наводимые в объекте, создают возмущение магнитного поля источника, в результате чего в области приёмной катушки появляется переменное магнитное поле, которое наводит ток в приёмной катушке. Далее величины амплитуды и фазы тока в приёмной катушке измеряются, обозначим их комплексной амплитудой $S(x, y)$, где (x, y) – координата центра приёмопередающей катушки. По сути $S(x, y)$ – это реакция системы на электропроводящий объект, по которой можно судить о форме объекта и наличии электрических контактов между его частями.



- – Подключение катушки источника
- – Подключение приёмной катушки

Рис. 1. Приёмопередающий модуль

Экспериментальные исследования

Для проведения экспериментальных исследований была разработана самоскомпенсированная магнитная катушка на печатной плате (рис. 2). Внешняя катушка имеет 100 витков, внутренняя компенсирующая катушка – 42 витка, а измерительная катушка в центре – 18 витков. Шаг спиралей катушек 500 мкм. Согласно предложенной конфигурации катушки, была изготовлена печатная плата с катушкой-источником и приёмной катушкой. Размеры печатной платы 20×20 см, толщина проводника 250 мкм. Разработанная печатная плата применялась в ходе экспериментальных исследований. В качестве генератора и приёмника использовалась звуковая карта для персонального компьютера SB Creative AudigySE PCI SB0570. Печатная плата с приёмной и передающей катушками размещалась на двухкоординатном сканере. На рис. 3 представлена фотография экспериментальной установки.

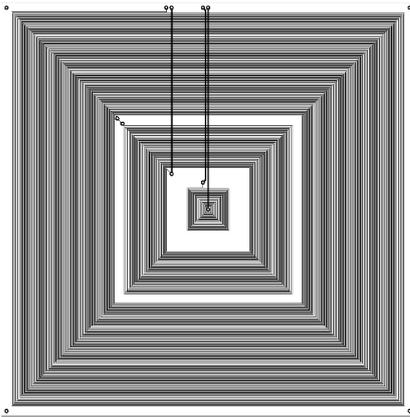


Рис. 2. Катушка-источник и приёмная катушка на печатной плате

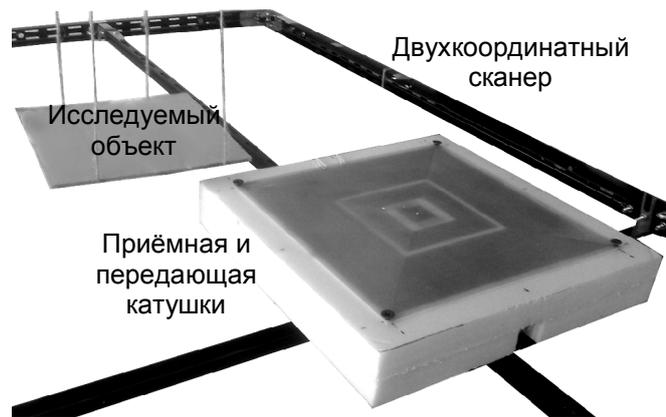


Рис. 3. Фотография экспериментальной установки

В ходе экспериментов объекты размещались на расстоянии 1 см от плоскости сканирования. Первый тестовый объект состоял из трёх полосок алюминиевой фольги толщиной 30 мкм, шириной 5 см различной длины – 5, 10 и 15 см. Между полосками был зазор 1 мм и не было электрического контакта. В результате эксперимента были измерены S - и C -квадратуры сигнала на выходе приёмной катушки на частоте 40 кГц при различных положениях приемопередающего модуля с шагом 5 мм на области 40×40 см. Результат измерений амплитуды сигнала представлен на рис. 4, *а* (большим значениям амплитуды соответствуют более тёмные области). На рис. 4, *б* представлена C -квадратура измеренного сигнала. Можно видеть, что три полоски отчётливо различаются, притом, что зазор между ними всего 1 мм. То есть разработанная система чувствительна к отсутствию электрических контактов. По C -квадратуре видно, что фаза сигнала меняет знак при переходе границы металлического объекта, что позволяет точно выделить контуры объекта.

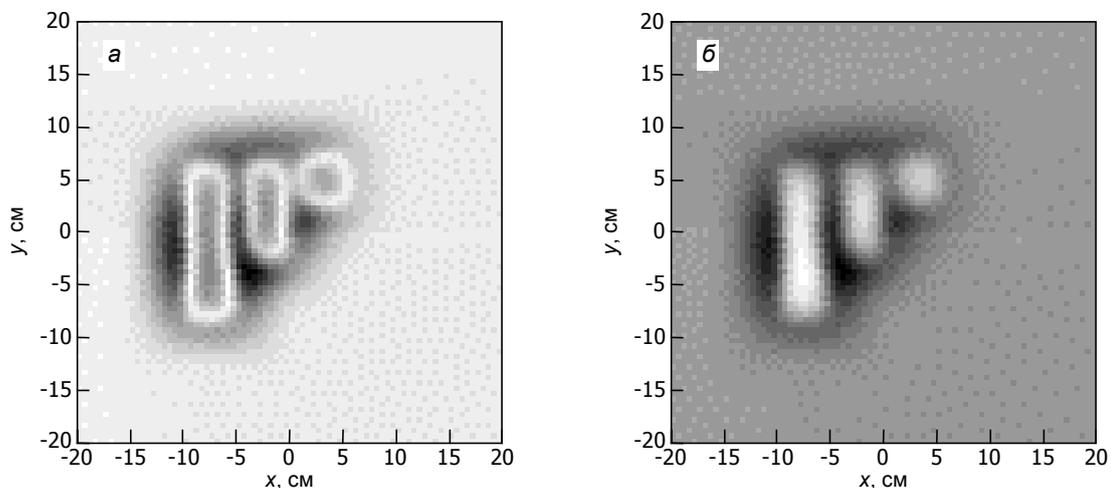


Рис. 4. Результат измерений для объекта из трёх алюминиевых полосок: *а* – амплитуда, *б* – C -квадратура

Для проверки возможности визуализации объектов из нескольких слоёв с различным распределением электропроводящих областей был проведён эксперимент с двумя слоями из алюминиевых полосок, ориентированных перпендикулярно и расположенных в форме, аналогичной предыдущему объекту. На рис. 5 представлен результат измерений, по которому можно различить структуру объекта.

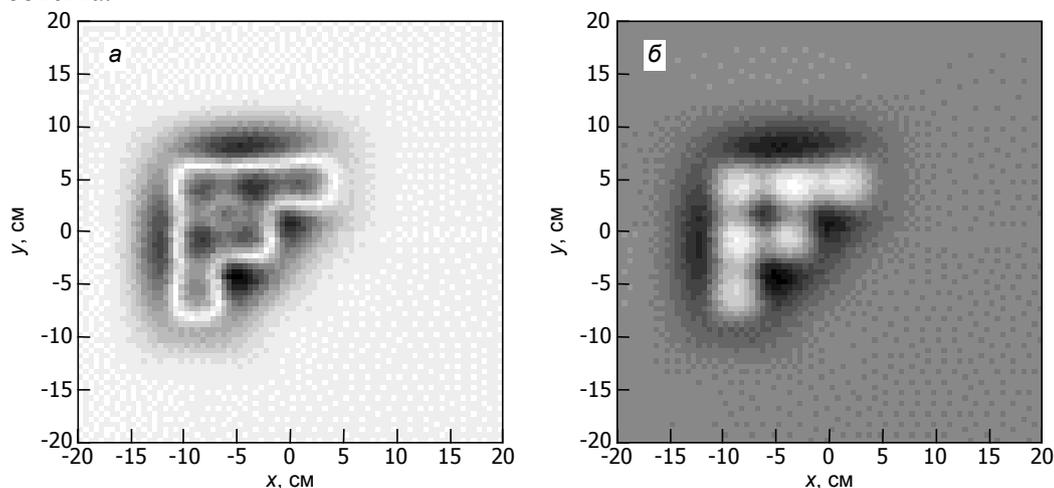


Рис.5. Результат измерений для объекта из двух слоёв пересекающихся алюминиевых полосок: *a* – амплитуда, *б* – *C*-квадратура

Заключение

В работе предложен метод вихретоковой визуализации металлических объектов на основе применения самоскомпенсированной плоской катушки-источника. Данный метод исследован экспериментально. Результаты экспериментов показали возможность визуализации металлических объектов, однородные электропроводящие области и области разрывов. Разрешение получаемых изображений сравнимо с расстоянием до исследуемого объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапожников А. Б. Основы электромагнитной дефектоскопии металлических тел: дис. ... д.ф.-м.н. – Томск, 1961.
2. Иванчиков В. И. Вихревые токи и их магнитное поле у дефекта простейшей формы: дис. ... к.ф.-м.н. – Томск, 1950.
3. Ключев С. В. // Информационные системы и технологии. – 2010. – № 2. – С. 26–33.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: sdy@mail.tsu.ru

Поступила в редакцию 15.07.13.

Суханов Дмитрий Яковлевич, к.ф.-м.н., доцент;
Гончарик Мария Александровна, студентка.

D.Y. SUKHANOV, M.A. GONCHARIK

DETERMINING OF AN ELECTRICALLY CONDUCTIVE OBJECT SHAPE BY REMOTE SENSING OF THE HARMONIC MAGNETIC FIELD PERTURBATIONS

Proposed a method for determining of the shape of a flat conductive object on the basis of measurement of magnetic field distortions of selfcompensated magnetic coil. Coils are a form that is no magnetic field is created in the center, however, it is created in the other points of space. Field measurements produced in the center of the coils. Any metal object cause distortion of magnetic field and produce nonzero values of the magnetic field in the center of the coil. By measurements in the plane close to investigated object the restoration of the object image occurs.

Keywords: induction current, magnetic defectoscopy, quasimagetostatics.