

УДК 537.85

Д.Я. СУХАНОВ, Е.С. СОВПЕЛЬ

МАГНИТОИНДУКЦИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ И ПРИБОРОВ

Представлены результаты экспериментальных исследований о возможности определения типа электрических элементов в цепях и визуализации конструктивных элементов электрических приборов с помощью дистанционного магнитоиндукционного зондирования. Применяется сканирующая самоскомпенсированная катушка и плоская сканирующая решётка из 64 индукционных катушек позволяющая производить измерения с шагом 5 мм.

Ключевые слова: магнитоиндукционная томография, индукционный ток, магнитная интроскопия

Введение

Визуализация скрытых объектов возможна с помощью различных томографических методов, таких, как радиоволновые, ультразвуковые, рентгеновские, а так же магнитные методы [1]. Преимуществом магнитной томографии является возможность визуализации электропроводящих объектов скрытых за любыми диэлектрическими преградами и даже за тонкими металлическими преградами [2]. Зондирование может быть реализовано на основе сканирующей матрицы плоских спиральных индукционных катушек [3], либо сканирующей дифференциальной или самоскомпенсированной катушкой [4]. Поля, создаваемые индукционными токами, несут информацию не только о наличии электропроводящих областей, но и о наличии активных и реактивных элементов – резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов. Реактивные элементы влияют на фазу индукционных токов, что может быть обнаружено по данным дистанционного магнитоиндукционного зондирования. Помимо возможности исследования электрических цепей, переменные магнитные поля позволяют визуализировать внутреннюю структуру целых приборов.

Экспериментальные исследования

Для проверки возможности дистанционной классификации активных и реактивных элементов были созданы пять тестовых электрических цепей, в каждой из которых, была квадратная индукционная катушка со стороной 12 см из 50 витков. Схема расположения электрических элементов представлена на рис.1.

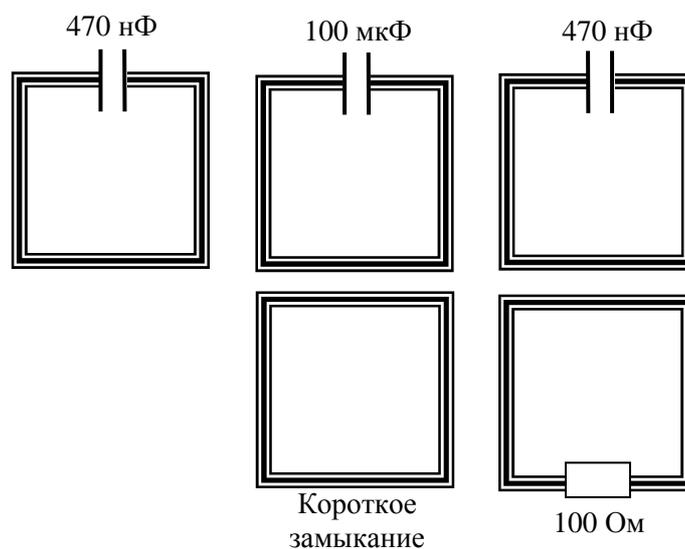


Рис. 1. Тестовые электрические цепи

Было проведено зондирование тестовых электрических схем с помощью сканирующей самоскомпенсированной катушки на области 44 см на 32 см с шагом 1 см на частотах от 5 кГц до 40 кГц. Производились измерения косинусной и синусной квадратур сигнала в приёмной катушке на 64 различных частотах. На рис.2 представлен результат измерений на частоте 10 кГц.

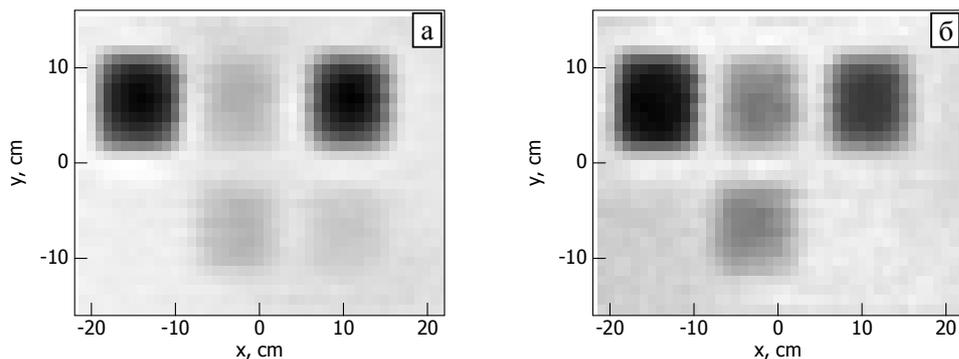


Рис. 2. Измеренное поле на частоте 10 кГц
(а – косинусная квадратура; б – синусная квадратура)

Наблюдается различие сигналов от цепей с конденсаторами и резистором. Сигнал от короткозамкнутого витка практически совпадает с сигналом от витка с конденсатором наибольшей ёмкости (100 мкФ), это объясняется тем, что сопротивление данного конденсатора на 10 кГц по модулю близко к нулю. В результате основное влияние на фазу индукционного тока оказывает катушка индуктивности. На нижних частотах фазы сигналов от цепей с конденсаторами номиналом 470 нФ отличаются от фазы сигналов цепей с конденсатором 100 мкФ, но на частотах выше 10 кГц они начинают совпадать и уже не отличаются от короткозамкнутого витка. На высоких частотах начинает преобладать сопротивление самой индукционной катушки. На нижних частотах фаза сигнала от цепи с резистором изменяется слабо.

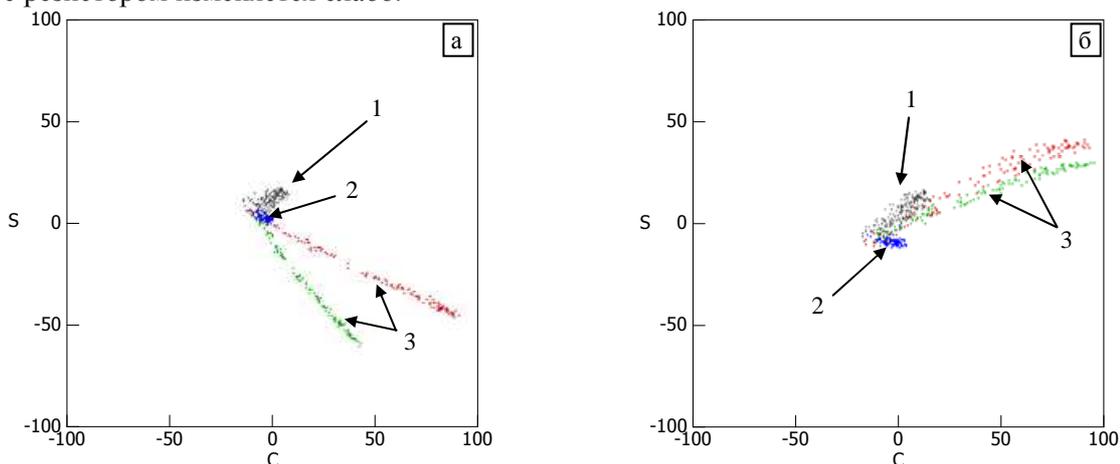


Рис. 3. Распределение квадратур сигналов от цепей с различными элементами на частоте 8.3 кГц (а) и 10 кГц (б).
(1 — от цепей с короткозамыкателем и с конденсатором емкостью 100 мкФ;
2 — от цепи с резистором; 3 — от цепей с одинаковыми конденсаторами 470 нФ)

Наблюдается различие в сигналах от цепей с одинаковыми по номиналу конденсаторами. Проведя проверку каждого из конденсаторов в отдельности от катушки, оказалось, что номиналы действительно различаются, 510 нФ и 466 нФ. Следовательно, дистанционное магнитоиндукционное зондирование позволяет оценивать характеристики электрических цепей.

Для исследования возможности визуализации внутренней структуры электрических приборов было проведено зондирование ноутбука Hewlett Packard Pavilion g6. Эксперимент проводился с помощью сканирующей матрицы плоских спиральных индукционных катушек [3] на частоте 20 кГц. Фотография объекта и распределение магнитного поля представлены на рис.4 и рис.5. Визуализируются радиаторы системы охлаждения, разъемы, заземляющая металлизация материнской платы, а так же CD-дисковод.

Заключение

Показана возможность определения типа электрических элементов и визуализации внутренней структуры приборов с помощью дистанционного магнитоиндукционного зондирования. Для визуализации использовались различные сканирующие установки, такие как, самоскомпенсиро-

ванная катушка и матрица плоских спиральных индукционных катушек. Представлены результаты экспериментальных исследований на цепях с активными и реактивными элементами.

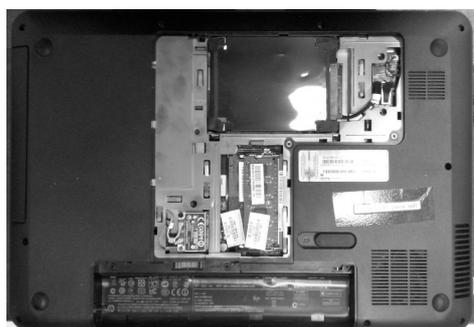


Рис. 4. Фотография экспериментального объекта (ноутбук)

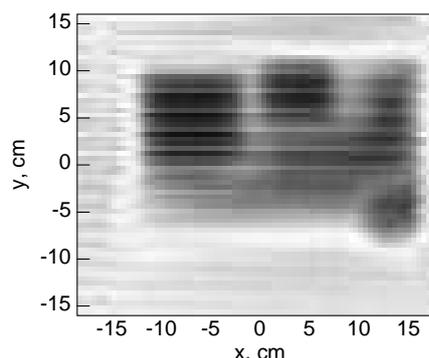


Рис. 5. Амплитуда z компоненты вектора магнитной индукции для ноутбука

Работа выполнена по программе Научного фонда им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» (проект 8.2.48.2015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы: Монография. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. - 264 с.
2. Павлюченко В.В., Дорошевич Е.С. Неразрушающий контроль объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях. – Дефектоскопия, 2010, № 11, с. 29 – 40.
3. Суханов Д.Я., Берзина Е.С. Магнитная интроскопия с использованием решетки датчиков магнитного поля // Известия высших учебных заведений. Физика. Том 56 №8/2. 2013. – С. 23-26.
4. Суханов Д.Я., Гончарик М.А. Определение формы электропроводящего объекта по дистанционным измерениям возмущений переменного магнитного поля // Известия высших учебных заведений. Физика. Том 56 №8/2. 2013. – С. 41-43.

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

Суханов Дмитрий Яковлевич, канд. физ.-мат. наук;
Берзина Елена Сергеевна, магистр радиоп физики.

D.Y. SUKHANOV, E.S. SOVPEL

MAGNETIC-INDUCTION TOMOGRAPHY OF ELECTRIC CIRCUITS AND DEVICES

The results of experimental studies of the possibility of determining a type of electric-optical elements in electric circuits and visualization of structural elements of electrical devices using remote magnetic sensing are presented. A scanning self-compensated coil and a flat scanning array of 64 induction coils allowing measurements in 5 mm increments was used.

Keywords: *magnetic-induction Tomography, induced current, magnetic introscopy*

REFERENCES

1. Yakubov V.P., Shipilov S.E., Sukhanov D.Ya., Klovov A.V. Radiovolnovaya tomografiya: dosizhenia i perpectivi: Momografia. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2014. - 264 P.
2. Pavlyuchenko V.V., Doroshevich E.S. Nondestructive control of objects made of electroconductive materials in pulsed magnetic fields // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2010, Volume 46, Issue 11, pp 810-818.
3. Sukhanov D.Ya., Berzina E.S. Magnitnaya introskopia s ispolzovaniem reshetki datchikov magnitnogo polia // Izvestia vischih uchebnihih zavedeniy. Fizika. Vol. 56 №8/2. 2013. – P. 23-26.
4. Sukhanov D.Ya., Gonchzrik M.A. Opredelenie formi electropovodyaschego objecta po distancionnim izmereniam vozmushcheniy peremennogo magnitnogo polia // Izvestia vischih uchebnihih zavedeniy. Fizika. Vol. 56 №8/2. 2013. – P. 41-43.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia,
E-mail: sdv@mail.tsu.ru

Sukhanov Dmitry Yakovlevich, senior researcher, PhD;
Sovpel Elena Sergeevna, master of radiophysics.