

УДК 621.3.013.24

Н.Н. ВОРСИН

Брест, БрГУ имени А.С. Пушкина

ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОГО ПЛОСКОГО ВИТКА ДЛЯ ВИХРЕТОКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК

Вихретоковое зондирование, занимающее существенное место в системах неразрушающего контроля, дает хорошие результаты только на объектах из материалов с высокой электропроводностью – металлы, легированные полупроводники, насыщенные электролиты. С уменьшением электропроводности объекта зондирования вихретоковый отклик ослабевает и теряется в шумах индикаторного устройства. В настоящей работе приведены результаты попыток расширения диапазона вихретокового зондирования в область слабой электропроводности. Задача расширения диапазона возникла при построении прибора поточного контроля при производстве резистивных полотен на диэлектрическом основании. Удельное сопротивление наносимых резистивных пленок занимает диапазон от нескольких Ом/□ до 500 Ом/□. Обычный вихретоковый датчик накладного типа в виде проволочного витка создает достаточный сигнал только в низкоомной части диапазона – до 100 Ом/□. В высокоомной области диапазона, особенно в верхней его части, сигнал датчика оказывается очень слабым и не ощущается индикаторным устройством. Идея расширения диапазона удовлетворительной работы датчика заключается в расширении создаваемой им кольцевой токовой полосы на зондируемой пленке. При этом должна увеличиться поглощаемая пленкой электромагнитная мощность, в сравнении с обычным – тонким витком, и, следовательно, величина реакции датчика. Следует заметить, что подобные проблемы в [1, 2] пытаются решить другим путем – за счет улучшения чувствительности индикаторного устройства, но возможности этих способов сильно ограничены.

Теоретический анализ процесса вихретокового зондирования осуществляется разбиением зондируемой области на множество кольцевых зон, каждая из которых объявляется тонким контуром, в пределах которого плотность тока считается неизменной. Сам возбуждающий виток при таком анализе также считается тонким контуром. Все эти контуры связаны между собой и возбуждающим витком магнитной связью, что описывается системой линейных уравнений для комплексных амплитуд токов в контурах и витке. Коэффициентами в уравнениях являются собственные и взаимные индуктивности контуров, которые предварительно вычисляются по известным

формулам [3] $M_{pk} = \iint_{pk} \frac{d\vec{l}_p d\vec{l}_k}{a}$, где $d\vec{l}_p d\vec{l}_k$ – элементы p -того и k -того контуров, a – расстояние между этими элементами. Интегрирование проводится по обоим контурам. Эта же формула используется для вычисления собственной индуктивности контура, толщина которого в этом случае считается конечной (толстый контур). Индуктивность принимается равной взаимной индуктивности двух бесконечно тонких контуров, из которых первый проходит по осевой линии, а второй – по внутренней границе «толстого» контура [3].

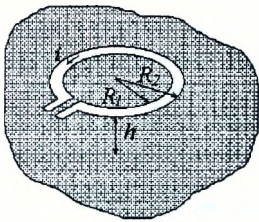


Рисунок 1

Переход к широкому витку в данной схеме анализа означает необходимость дробления на кольцевые зоны не только зондируемой поверхности, но и самого витка. Это приведет к увеличению числа уравнений и неизвестных, что выльется всего лишь в увеличение времени решения и расходования памяти компьютера. Результатом решения является не только распределение тока в зондируемой поверхности, но и распределение тока в возбуждающем витке. Кроме того, определяются макроскопические параметры, такие как индуктивность возбуждающего витка и его колебательная

добротность, с учетом потерь энергии колебаний в активном сопротивлении витка и зондируемой поверхности. Необходимо сказать, что при вихревом зондировании одним из основных параметров датчика является относительное изменение добротности витков в результате их связи с зондируемым объектом – Q_0/Q .

На рисунке 1 изображена постановочная часть задачи. Виток характеризуется внутренним – R_1 , внешним – R_2 радиусами, d – толщиной фольги, из которой он изготовлен, и ρ – удельным сопротивлением материала. Заданными также являются расстояние до резистивной поверхности – h и ее удельное сопротивление – δ в Ом/□. Составление и решение системы уравнений осуществлялось в системе МЭПЛ, которая является плохим инструментом по быстрдействию, но хороша по краткости текста программы и наглядности представления результатов. На рисунке 2 приведен результат такого расчета для $R_1=12$ мм, $R_2=19$ мм, $h=0.5$ мм, $d=0.05$ мм, $\rho=1.7 \cdot 10^{-8}$ Ом*м (медь) и $\delta=10$ Ом/□. График выражает в относительных единицах зависимость плотности тока в поверхности от номера выделяемого на ней контура – кольцевой зоны. Видно, что непосредственно под витком плотность тока имеет максимум, который по ширине приблизительно совпадает с шириной витка.

Следовательно, увеличивая ширину витка, можно увеличить ширину токовой полосы в резистивной поверхности под ним и увеличить вклад этой поверхности в потери электромагнитной мощности витка. Убедиться в этом можно проводя расчет макроскопических параметров витка для неизменного среднего диаметра и расстояния до резистивной поверхности. При указанных выше характеристиках витка эти параметры равны: $Q_0=112$, $L=44$ нГн, $Q=16.3$, $Q_0/Q=7$. Аналогичный расчет для витка с $R_1=15$, $R_2=16$, т.е. миллиметровой ширины дает $Q_0=45$, $L=80$ нГн, $Q=16.8$, $Q_0/Q=2.7$. Таким образом, применение широкого витка позволяет улучшить показатель относительного изменения добротности более, чем в 2.5 раза. Многочисленные эксперименты с витками разной ширины подтверждают этот вывод.

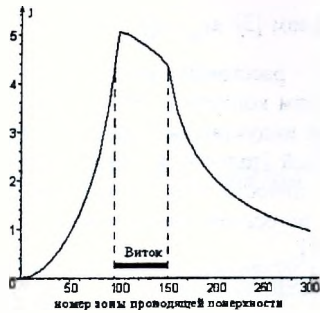


Рисунок 2



Рисунок 3

Идея применения широкого витка была использована для построения бесконтактного измерителя удельного сопротивления резистивных пленок, который используется на производстве резистивных полотен ООО «Импульс» (РФ, Алтайский край). Конструкция зонда показана на рисунке 3. Данный прибор позволил измерять удельное сопротивление резистивного покрытия в процес-

се его нанесения на бумажную основу. Причем зонд располагается со стороны бумаги. Диапазон измеряемых удельных сопротивлений составил 10–600 Ом/□. В ходе работ над прибором были проверены различные варианты построения зонда, рекомендованные в [1, 2] и других источниках. Однако реализовать нужный диапазон измерений удалось только на основе применения широкого витка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стеблев, Ю.И. Синтез заданных характеристик вихретоковых преобразователей / Ю.И. Стеблев // Дефектоскопия. – 1984. – № 11. – С. 12–20.
2. Fava, J. Design and construction of eddy current sensors with rectangular planar coils / J. Fava, A.E. Obrutsky, M. Ruch // 16 the World Conf. On Non-Destr. Testing. – Montreal, 2004. – P. 34–46.

3. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей : справ. кн. / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – Л. : Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.