

7. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.

8. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Time-Overlapping Magnetic Field Pulses / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, № 12. – P. 949–956.

УДК 620.130

Расчеты распределений электрического сигнала преобразователя магнитного поля

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены расчетные зависимости $U(x)$ электрического напряжения от координаты x на выходе магнитной головки, сканирующей магнитный носитель (МН) с записями магнитных полей. На МН воздействовали тремя импульсами магнитного поля одного и двух линейных индукторов. Расчеты проведены в отраженной волне. Получена гистерезисная интерференция импульсного магнитного поля, позволяющая повысить оперативность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем.

Расчеты распределений электрического сигнала при гистерезисной интерференции приведены в [1–3]. Так, в [1] описана гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора, а компьютерные методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи объектов из электропроводящих материалов изложены в [2]. Повысить точность определения свойств объектов позволяют также проведенные авторами ранее расчеты распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля [3].

Отметим расчетные методы, не относящиеся к гистерезисной интерференции. Это математическое моделирование определения геометрических параметров внутренних дефектов различных форм методом магнитной дефектоскопии [4] и компьютерный анализ конфигурации магнитных полей поверхностных дефектов сплошности конечных размеров в ферромагнитной пластине ограниченной протяженности методом пространственных

интегральных уравнений [5], а также расчетный способ оценки параметров дефектов в сталях [6].

Формирование изображений электрических сигналов преобразователя магнитного поля при гистерезисной интерференции для контроля металлов в импульсных магнитных полях изучено в [7]. Там на МН с арктангенсной характеристикой воздействовали сериями разнополярных импульсов магнитного поля линейного индуктора из одного, двух, трех, четырех, пяти и пятнадцати импульсов. При этом проводили анализ зависимостей электрического напряжения, снимаемого с магнитной головки (МГ), от пространственной координаты при линейных изменениях толщины пластины. Толщина алюминиевой пластины была порядка 0,1 мм.

В указанной работе представлен алгоритм последовательности изменений величины суммарной напряженности импульсов магнитного поля на поверхности алюминиевой пластины, обеспечивающий одинаковую амплитуду гистерезисных колебаний электрического напряжения в заданном интервале значений аргумента. Установлено, что этот алгоритм позволяет получить линейную (близкую к линейной) разностную зависимость сигнала от координаты для клинообразного алюминиевого образца.

Отметим, что при теоретических расчетах и экспериментальных исследованиях следует учитывать дифференциальный фон электрического сигнала, снимаемого с индукционной магнитной головки [8].

Несмотря на достаточно высокие чувствительность и точность определения свойств объектов с применением гистерезисной интерференции, требуется дальнейшее повышение качества контроля, в частности, повышение его оперативности.

Целью настоящей работы является повышение оперативности определения толщины металлических объектов, удельной электропроводности их материала и параметров дефектов в объектах. Поставленная цель достигается тем, что находят картину гистерезисной интерференции в отраженных от объекта волнах двух источников одновременно.

Произведем расчеты магнитных полей для одного и двух линейных индукторов. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля линейного индуктора H на поверхности магнитного носителя находим по формуле:

$$H = A / (x^2 + 0,36), \quad (1)$$

где A – коэффициент, А·см; x – расстояние до проекции оси индуктора на МН, см.

Величина H измеряется в А/см. Линейный индуктор находится на расстоянии 0,6 см от МН параллельно плоскости носителя.

Воспользуемся найденными ранее нами гистерезисными ветвями $U(H)$, используемого магнитного носителя [7], где U – величина электрического напряжения на выходе магнитной головки, сканирующей МН с записями магнитных полей. Начальная зависимость для используемого МН может быть описана функцией арктангенс:

$$U_1 = 23,5 + 24,3 \arctg(0,011H - 1,45). \quad (2)$$

Величина электрического напряжения выражена в милливольтгах, а напряженность магнитного поля – в А/см.

Функция электрического напряжения при намагничивании магнитного носителя в обратном направлении описывается следующим выражением:

$$U_2 = -23,5 + 0,62U_1 + (24,5 + 0,4U_1) \arctg((0,011 + 0,000087U_1)H + 1,45 - 0,0016U_1). \quad (3)$$

Аналогичной функцией описывается зависимость $U_3(H)$ при намагничивании МН последующим импульсом в прямом направлении с коррективкой знаков перед слагаемыми.

На рис. 1 изображены зависимости 1, 2 и 3 $U(x)$, полученные в результате воздействия на МН соответственно одним, двумя и тремя импульсами магнитного поля. Значения коэффициента A в формуле (1) для первого, второго и третьего импульсов составляли: $A_1 = 144$ А см, $A_2 = -73,2$ А см и $A_3 = 40$ А см. Здесь же показан центральный максимум сигнала 4 зависимости 3, соответствующий положению проекции оси индуктора на МН.

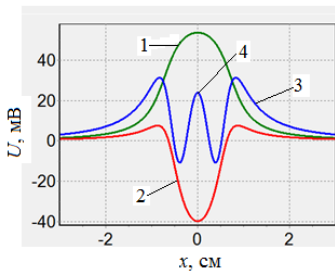


Рис. 1. Зависимости $U(x)$:
 1 – $A = 144$; 2 – $A = -73,2$;
 3 – $A = 40$;
 4 – максимум сигнала

Для повышения точности контроля указанных свойств объектов используется полученное авторами явление гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля.

Результаты воздействия на МН тремя импульсами двух параллельных линейных индукторов с параллельными осями показаны на рис. 2.

Здесь изображены расчетные зависимости 1 и 2 (зеркальная) $U(x)$, а также их центральные максимум 3 и минимум 4 . Значения коэффициента A в формуле (1) для первого, второго

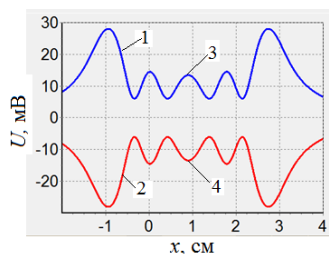


Рис. 2. Расчетная зависимость $U(x)$: 1 – с максимумом 3 ; 2 – зеркальная зависимость с минимумом 4 сигнала; $A = 144, -77,2, 35; 38,5$

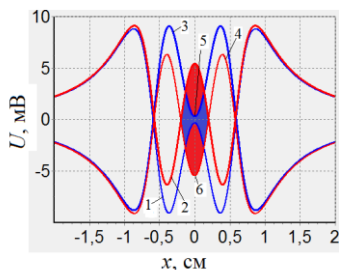


Рис. 3. Расчетные зависимости $U(x)$: 1 – ($A = 144, -77,2, 35$); 2 – ($A = 144, -77,2, 38,5$); $3, 4$ – зеркальные зависимости; 5 – минимум сигнала, 6 – максимум сигнала

отсутствует) и равен $0,6$ мВ.

На рис. 3 показан центральный максимум 6 , образованный значениями зависимостей 2 и 4 в этой же точке и равный 11 мВ. Зависимость 1 получена в результате воздействия на МН тремя импульсами магнитного поля. Значения коэффициента A в (1) для первого, второго и третьего импульсов составляли: $A_1 = 144$ А·см, $A_2 = -77,2$ А·см и $A_3 = 35$ А·см.

При построении графика зависимости 2 значения A_1 и A_2 оставались теми же, как и для зависимости 1 , а третий коэффициент был равен $A_3 = 38,5$ А·см. Это означает, что максимальная величина тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля вблизи поверхности объ-

и третьего импульсов составляли: $A_1 = 244$ А·см, $A_2 = -53,2$ А·см и $A_3 = 40$ А·см. При контроле объектов величина напряженности магнитного поля вблизи поверхности изменяется из-за возникновения индукционных токов в электропроводящем объекте.

Следовательно, при теоретических расчетах следует устанавливать соответствующие величины коэффициентов A . Как показали наши исследования, максимальные чувствительность и точность контроля толщины объекта могут быть достигнуты в том случае, когда центральный максимум для эталонного объекта равен нулю. При контроле объекта с использованием полей двух линейных источников будем устанавливать близкую к нулю величину максимума посередине между проекциями индукторов на МН в отсутствие объекта.

На рис. 3 изображены зависимости $U(x)$ 1 и 2 и их зеркальные зависимости 3 и 4 . Здесь также показан центральный минимум сигнала 5 , размах которого образован значениями зависимостей 1 и 3 в точке $x = 0$ (объект

екта вследствие возникновения в нем индукционных токов увеличилась в 1,1 раза, а размах сигнала благодаря использованию гистерезисной интерференции увеличился с 0,6 мВ до 11 мВ, то есть в 18 раз.

Полученная гистерезисная интерференция импульсного магнитного поля на двух индукторах позволяет повысить оперативность контроля толщины объекта, удельной электропроводности его материала и дефектов в нем по сравнению с *НИ* на одном индукторе при тех же значениях чувствительности и точности.

При использовании решетки линейных индукторов оперативность контроля может быть увеличена в десять и более раз за счет увеличения площади одновременного контроля.

Литература

1. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.
2. Pavlyuchenko, V. V. Computer-assisted methods for finding pulsed magnetic-field distributions near current-conducting objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russ. J. Nondetr. Test. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 166–174.
3. Pavlyuchenko, V. V. Calculation of residual magnetic-field distributions upon hysteretic interference of a pulsed magnetic field / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russ. J. Nondetr. Test. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. 8–16.
4. Черепанов, А. А. Математическое моделирование определения геометрических параметров внутренних дефектов различных форм методом магнитной дефектоскопии / А. А. Черепанов, Л. Н. Кротов, Е. Л. Кротова // Перспективы науки. – 2013. – № 12(51). – С. 60–63.
5. Гальченко, В. Я. Компьютерный анализ конфигурации магнитных полей поверхностных дефектов сплошности конечных размеров в ферромагнитной пластине ограниченной протяженности методом пространственных интегральных уравнений / В. Я. Гальченко, Д. Л. Остапущенко, М. А. Воробьев // Дефектоскопия. – 2009. – № 3. – С. 56–66.
6. Новослугина, А. П. Расчетный способ оценки параметров дефектов в сталях / А. П. Новослугина, Я. Г. Смородинский // Дефектоскопия. – 2017. – № 11. – С. 13–19.
7. Pavlyuchenko, V.V. Imaging Electric Signals of a Magnetic Field Transducer with Hysteretic Interference for Testing Metals in Pulsed Magnetic Fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2020. – Vol. 56, № 11. – P. 907–914.

8. Pavlyuchenko, V.V. Differential Background of Electric Signal Read- from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testin. – 2021. – Vol. 57, № 8. – P. 706–716.

УДК 620.9

Эффективность ветроэнергетики для Беларуси

Кириленко А. И., Хведченя В. А.

Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

В работе рассматриваются вопросы эффективности ветроэнергетики в условиях Беларуси. Подчеркивается, что в стране имеются условия для успешного развития этой отрасли. Акцентируется внимание на нерешенных вопросах, таких как развитие малой ветроэнергетики, утилизация отходов, необходимость развития сопутствующих отраслей, таких как водородная энергетика. Для повышения эффективности ветроэнергетики необходимо расширять функции этой техники, в частности, использовать разрежение воздуха в лопастях. Полноценный расчет экономической эффективности возможен только при учете экологических факторов.

Использование возобновляемых энергоресурсов – общемировая тенденция развития энергетики, независимо от того, какие аргументы выдвигаются в ее обоснование. В Беларуси диапазон доступных возобновляемых энергоресурсов ограничен: это ветровая, солнечная энергия и биомасса (включая леса). Мы сосредоточимся на анализе возможностей использования энергии ветра.

Такое использование может идти по двум направлениям. Строятся ветропарки с ветроэнергетическими установками (ВЭУ) большой мощности, работающие на единую энергосистему страны. Причем чем больше мощность, тем эффективнее ВЭУ. Крупнейший на сегодня дает мощность 9,0 МВт (6 объединенных ВЭУ Vestas V66 по 1,65 МВт) в Гродненской области [1]. В него вложено 5,6 млн долл. Кроме того, подобные ветропарки имеются в Гродненской и Витебской областях. Второе направление – это эксплуатация установок малой мощности в тех регионах, где энергопотребление не велико, а потери в линиях электропередач существенны. Таким установкам, которые могли бы успешно производиться в нашей стране, пока уделяется мало внимания. Как видим, для широкомасштабного использования ветра необходима большая подготовительная работа по выбору места строительства, обоснованию экономической целесообразно-