

УДК 620.130

КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ***В. В. ПАВЛЮЧЕНКО, Е. С. ДОРОШЕВИЧ***Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

UDC 620.130

CONTROL OF OBJECTS OF COMPLEX SHAPE IN A MAGNETIC FIELD***V. V. PAVLYUCHENKO, E. S. DOROSHEVICH***

Аннотация. С помощью разработанных методов гистерезисной интерференции проведены теоретические расчеты распределений электрического напряжения $U(x)$, снимаемого с магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с арктангенсной характеристикой с записями полей линейного индуктора, от пространственной координаты x . Получены зависимости $U(x)$ для пластин из магнитного носителя, установленных друг к другу под углами $7\pi/8$, $\pi/2$ и π рад, на основании которых сформированы их оптические изображения. Полученные результаты позволяют повысить точность контроля геометрических размеров объектов, их толщины и ориентации в пространстве, а также дефектов сплошности в них.

Ключевые слова: гистерезисная интерференция, импульсное магнитное поле, магнитный носитель.

Abstract. Using the developed methods of hysteresis interference, theoretical calculations of the distributions of the electric voltage $U(x)$ taken from a magnetic head scanning a magnetic carrier with an arctangent characteristic with recordings of the fields of a linear inductor from the spatial coordinate x were performed. The dependences $U(x)$ are obtained for plates from a magnetic carrier mounted to each other at angles $7\pi/8$, $\pi/2$ and π radians, on the basis of which their optical images are formed. The obtained results allow to increase the accuracy of control of geometric dimensions of objects, their thickness and orientation in space, as well as continuity defects in them.

Keywords: hysteresis interference, pulsed magnetic field, magnetic carrier.

Использование гистерезисной интерференции HI на магнитном носителе (МН) [1] для контроля свойств объектов значительно повышает чувствительность и точность контроля. Этому способствуют также расчеты распределений остаточных магнитных полей магнитного носителя и методы нахождения распределений импульсных магнитных полей вблизи электропроводящих объектов [2, 3]. В отличие от вихретокового вида [4–7] использование магнитного носителя позволяет производить записи мгновенных распределений магнитных полей на больших площадях. Вместе с тем, возможности магнитографического метода контроля [8, 9] могут быть выведены на новые уровни с проведением анализа способов записи и анализа информации, записанной на МН [10]. Кроме того, магнитный носитель и HI могут быть применены для контроля свойств объектов в их труднодоступных участках [11], где другие датчики и устройства не могут быть использованы.

Целью работы является повышение точности контроля геометрических параметров объектов сложной формы и их свойств. Для этого проведены

исследования распределений сигнала, снимаемого с магнитной головки (МГ), сканирующей пластины магнитного носителя, расположенного под разными углами друг к другу, как в отсутствии объекта, так и вместе с ним.

Величину электрического напряжения, снимаемого с используемого преобразователя магнитного поля при воздействии на МН одним импульсом магнитного поля в прямом направлении H_1 , рассчитывали по формуле

$$U_1 = B + 24,3 \operatorname{arctg}(0,011H_1 - C), \quad (1)$$

а величину электрического напряжения при воздействии на МН одним импульсом магнитного поля H_1 в прямом направлении и вторым обратным импульсом H_2 находили как

$$U_2 = -B + 0,61U_1 + (24,5 + 0,40U_1)\operatorname{arctg}((0,011 + DU_1)H_2 + C - 16U_1), \quad (2)$$

где B, C, D – постоянные.

Величину электрического напряжения при воздействии на МН третьим импульсом магнитного поля в прямом направлении U_3 находили по (2) с коррекцией знаков.

Как было показано ранее [11], гистерезисная интерференция позволяет определять параметры объектов в труднодоступных участках, например, в узких щелях, где другие методы, например, вихретоковые, магнитодинамические и другие [4, 12] применить нельзя. В данной работе рассмотрены возможности определения взаимной ориентации объектов, изготовленных из диамагнитных, парамагнитных или ферромагнитных материалов, которые могут являться проводниками, полупроводниками или изоляторами. Схема использования оптических изображений магнитных полей для определения углов между двумя пластинами из магнитного носителя показана на рис. 1, где представлены картины HI на этих пластинах с максимумами интерференций 1–5. Объект отсутствует. Здесь же обозначен линейный индуктор 6, создающий импульсное магнитное поле между этими пластинами, образующими между собой угол $\pi/2$. Ось линейного индуктора параллельна плоскостям пластин и находится на биссектрисе образуемого ими угла. На рис. 2 показаны зависимости $U(x)$, рассчитанные по (1) и (2) для пластин МН, установленных друг к другу под углами π и $\pi/2$ рад, а на рис. 3 и 4 представлены оптические изображения этих зависимостей, сформированные путем построения зеркальных функций. По размахам сигнала и распределениям максимумов 1–3 можно определить угол между пластинами МН. Величина нулевого максимума HI 1 на рис. 3 равна 16 мВ, на рис. 4 – 84 мВ. При этом оптические изображения на рис. 3 не следует деформировать, а изображения на рис. 4 надо расположить с учетом угла между пластинами МН, как это сделано на рис. 6.

Такие же действия проведены с оптическими изображениями магнитных полей пластин МН, установленных друг к другу под углом $7\pi/8$ рад (рис. 5).

Если к пластинам МН вплотную приложены пластины из алюминия, то получаем зависимости $U(x)$ 1–4 с максимумами 5–8, изображенные

на рис. 7 и 8. Отметим, что на рис. 7 в области $-2,5 \text{ см} \leq x \leq 0 \text{ см}$ кривые 1 и 2 описывают гистерезисную интерференцию на продолжении правой пластины МН на рис. 6 в область отрицательных значений аргумента и в отсутствие левой пластины. Для того чтобы получить изображение на левой пластине (см. рис. 6), следует построить графики зеркальных функций 5 и 6, что и сделано на рис. 8.

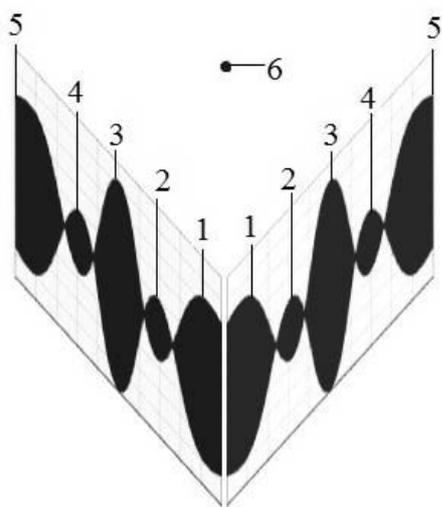


Рис. 1. Оптические изображения магнитных полей двух пластин МН

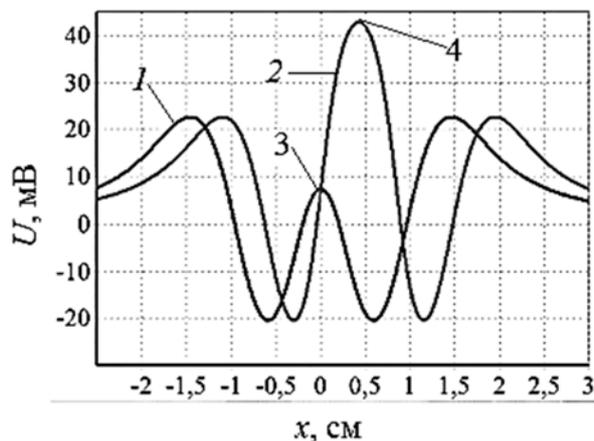


Рис. 2 Зависимости $U(x)$: для пластин МН, установленных друг к другу под углом: 1 – π рад; 2 – $\pi/2$ рад; 3, 4 – максимумы сигнала

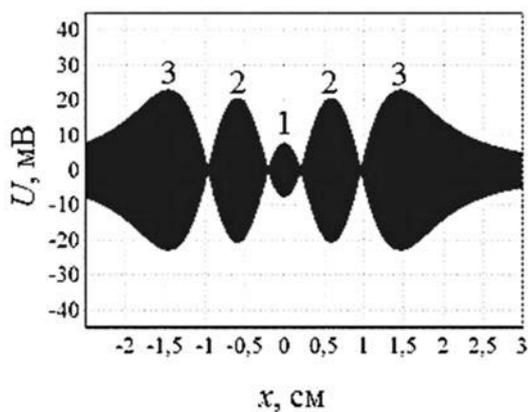


Рис. 3. Оптические изображения магнитных полей пластин МН, установленных друг к другу под углом π рад

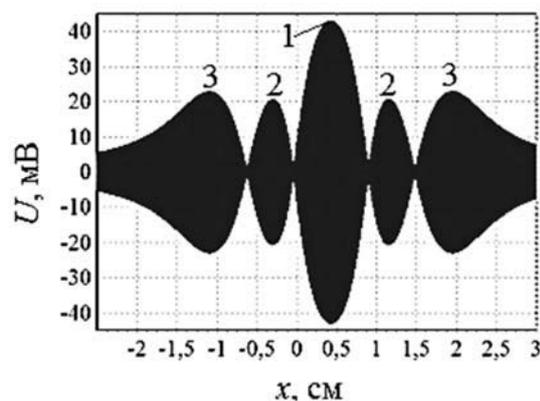


Рис. 4. Оптические изображения магнитных полей пластин МН, установленных друг к другу под углом $\pi/2$ рад

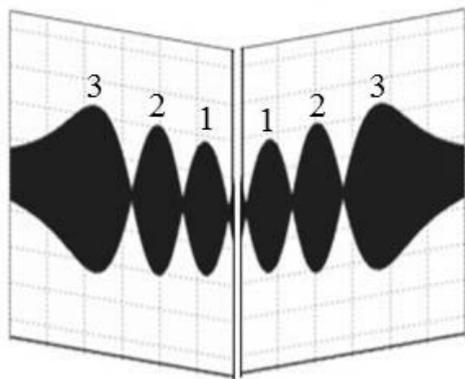


Рис. 5. Оптические изображения магнитных полей пластин МН, установленных друг к другу под углом $7\pi/8$ рад

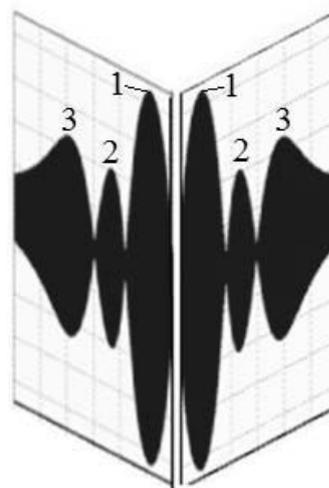


Рис. 6. Оптические изображения магнитных полей пластин МН, установленных друг к другу под углом $\pi/2$ рад

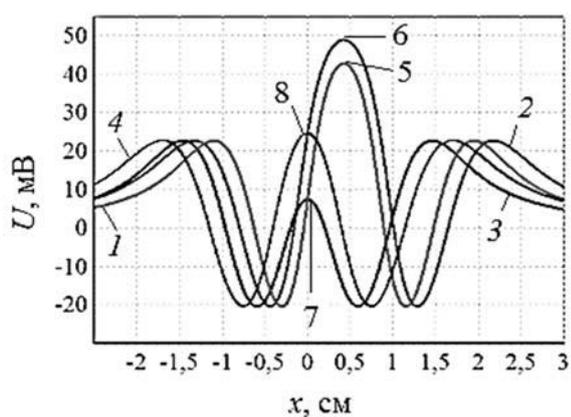


Рис. 7. Зависимости $U(x)$: 1 (π) и 2 ($\pi/2$) – без объекта; 3 (π) и 4 ($\pi/2$) – с алюминием; 5–8 – максимумы сигнала

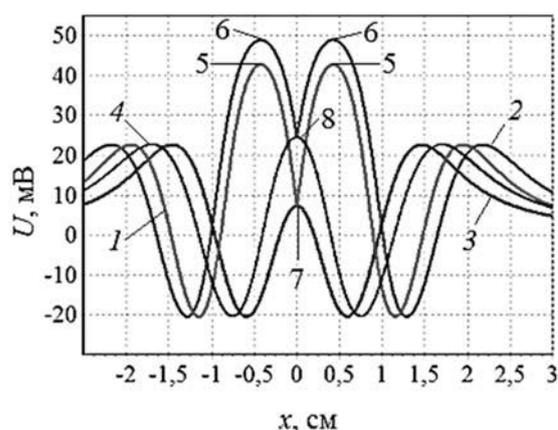


Рис. 8. Зависимости $U(x)$: 1 (π) и 2 ($\pi/2$) – без объекта; 3 (π) и 4 ($\pi/2$) – с алюминием; 5–8 – максимумы сигнала

Из рис. 8 следует, что произошло увеличение центрального максимума зависимости 3 с 27 мВ (7) до 44 мВ (8) зависимости 4, а максимумов зависимости 1 – с 63 мВ (5) до 70 мВ (6) зависимости 2. Несмотря на то, что максимумы 6 зависимости 2 не соответствуют точке $x = 0$, они также являются центральными максимумами, т. к. соответствуют проекции оси индуктора на плоскость пластин МН. Ввиду практически неисчерпаемого количества вариантов составления серии из трех импульсов по амплитуде, знаку и времени нарастания можно получать разные соотношения максимумов интерференции в интервале от -54 до 54 мВ.

Выводы. Разработан и осуществлен метод контроля объектов сложной формы в импульсном магнитном поле с использованием гистерезисной интерференции магнитного носителя, позволяющий повысить точность и

чувствительность определения удельной электропроводности материала объектов, их геометрических размеров, толщины и ориентации в пространстве по сравнению с безгистерезисными методами.

Метод позволяет находить алгоритмы оптимальных вариантов параметров воздействующих импульсов для определения свойств объектов с максимальной чувствительностью и точностью.

Метод контроля разработан на основании представленных результатов расчетов распределений электрического напряжения $U(x)$, снимаемого с магнитной головки, сканирующей магнитный носитель с записями полей линейного индуктора, от пространственной координаты x , а также на основании полученных зависимостей $U(x)$ для пластин из магнитного носителя, установленных друг к другу под углами $7\pi/8$, $\pi/2$ и π рад с формированием оптических изображений зависимостей $U(x)$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **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.
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 // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – Vol. 5, № 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 // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. 8–16.
4. **Ферстер, Ф.** Неразрушающий контроль методом магнитных полей рассеяния. Теоретические и экспериментальные основы выявления поверхностных дефектов конечной и бесконечной глубины / Ф. Ферстер // Дефектоскопия. – 1984. – № 12. – С. 13–18.
5. **Печенков, А. Н.** Вихревые токи и поля проводящих и намагничивающихся шаровых включений в немагнитную среду / А. Н. Печенков, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 2016. – № 4. – С. 48–55.
6. **Терехин, И. В.** Контроль удельной электропроводности двухслойных немагнитных объектов импульсным вихретоковым методом / И. В. Терехин, Е. А. Славинская // Дефектоскопия. – 2019. – № 4. – С. 30–36.
7. **Егоров, А. В.** Вихретоковый контроль металлических материалов с помощью проекционных методов многомерного анализа данных / А. В. Егоров, В. В. Поляков // Дефектоскопия. – 2018. – № 5. – С. 55–62.
8. **Козлов, В. С.** Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Минск: Высшая школа, 1976. – 256 с.
9. **Фалькевич, А. С.** Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – Москва: Машиностроение, 1966. – 176 с.
10. **Pavlyuchenko, V. V.** Differential Background of Electric Signal Read from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, № 8. – P. 706–716.
11. **Павлюченко, В. В.** Контроль дефектов в прошедшем через металл импульсном магнитном поле / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2021. – № 10. – С. 25–33.
12. **Лухвич, А. А.** Контроль толстослойных никелевых покрытий на двухслойных (неферромагнетик – ферромагнетик) основаниях магнитодинамическим методом толщинометрии / А. А. Лухвич, О. В. Булатов, А. Л. Лукьянов // Дефектоскопия. – 2014. – № 4. – С. 3–12.