

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **21657**

(13) **С1**

(46) **2018.02.28**

(51) МПК

**G 01N 27/72** (2006.01)

(54) **СПОСОБ КОНТРОЛЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ,  
МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ, А ТАКЖЕ ТОЛЩИНЫ  
И ДЕФЕКТОВ СПЛОШНОСТИ  
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ОБЪЕКТА**

(21) Номер заявки: а 20140744

(22) 2014.12.30

(43) 2016.08.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Павлюченко Владимир Васильевич; Дорошевич Елена Сергеевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 16816 С1, 2013.

ВУ 17626 С1, 2013.

ВУ 6236 С1, 2004.

ВУ 8826 С1, 2006.

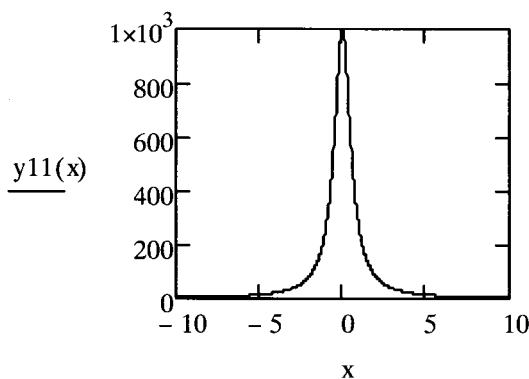
RU 2118816 С1, 1998.

SU 1552084 А1, 1990.

US 4271393 А, 1981.

(57)

Способ контроля удельной электропроводности, магнитной проницаемости, а также толщины и дефектов сплошности электропроводящего объекта, в котором на поверхность исследуемого объекта, размещенного под осью линейного индуктора на заданном расстоянии от него, устанавливают обладающий известными магнитными свойствами сплошной или дискретный магнитный носитель, совмещенный с пленочным визуализатором магнитного поля или выполненный в виде указанного визуализатора, обладающего заранее определенными параметрами магнитной анизотропии, определяющими степень его чувствительности к тангенциальной или нормальной составляющей напряженности внешнего магнитного поля по отдельности либо к их сочетанию, затем воздействуют на объект с магнитным носителем импульсом магнитного поля с выбросами прямой и обратной полярности либо последовательностью из заданного числа таких импульсов с временами



Фиг. 1

нарастания и затухания и амплитудами, экспериментально подобранными исходя из условия максимальной чувствительности оптического изображения магнитного поля визуализатора к изменению искомым свойств объекта, считывают с визуализатора информацию и получают оптическое изображение, соответствующее пространственному распределению магнитного поля носителя с объектом, выделяют на нем участок, в границах которого напряженность поля соответствует предварительно заданному уровню, и присваивают ему заданный цвет или уровень серого, а затем определяют искомые свойства объекта путем сравнения указанного участка изображения с ограниченными и окрашенными по тому же критерию участками эталонных изображений, полученных заранее при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами, с очередным наложением указанных участков изображений друг на друга и их взаимным вычитанием по элементам разложения в растр.

---

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано для контроля качества объектов из электропроводящих материалов и измерения мгновенных распределений магнитных полей.

Известен магнитоимпульсный способ контроля материалов [1], заключающийся в том, что на контролируемый объект воздействуют периодически повторяющимися импульсными магнитными полями и по параметрам взаимодействия этих полей со структурой материала определяют физико-механические свойства материала.

Однако этот способ не обладает достаточной точностью.

Известен способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала [2], заключающийся в том, что на поверхность объекта воздействуют импульсами магнитного поля с разным временем нарастания, находят распределение максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_{\text{тм}}$  по линии замера для каждого импульса, формируют оптическое изображение распределения в виде растра, измеряют  $H_{\text{тм}}$ , по значению которой определяют величину удельной электропроводности  $\sigma$  материала объекта и величину его магнитной проницаемости  $\mu$  по предварительно найденным зависимостям величины напряженности магнитного поля от  $\sigma$ ,  $\mu$  и времени нарастания импульса поля, а наличие дефектов - по виду растра.

Однако этот способ обладает недостаточной точностью.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала [3], заключающийся в том, что на поверхность объекта, размещенную параллельно оси линейного индуктора, устанавливают дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными участками, воздействуют на объект серией из трех последовательных одиночных импульсов магнитного поля соответственно прямой, обратной и снова прямой полярности с разными временами нарастания и с амплитудой, убывающей от импульса к импульсу, сканируют носитель считывающим устройством вдоль линии замера, совпадающей с проекцией оси индуктора на указанную поверхность, находят распределение электрического напряжения на выходе считывающего устройства вдоль линии замера, пропорционального в каждой точке этой линии максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля носителя, и формируют оптическое изображение указанного распределения, затем многократно перемещают образец относительно индуктора, и аналогичным образом получают множество оптических изображений указанного распределения вдоль всего множества линий замера, и совмещают все указанные изображения друг с другом для формирования

## BY 21657 C1 2018.02.28

растрового изображения указанного распределения для всей поверхности магнитного носителя, а затем находят искомые свойства объекта путем сравнения полученных оптических изображений или растрового изображения целиком с соответствующими изображениями, полученными при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами, при этом амплитуды всех импульсов магнитного поля подбирают исходя из условия максимальной чувствительности величин указанного электрического напряжения на выходе считывающего устройства к изменению искомых свойств объекта относительно свойств эталонных объектов.

Однако этот способ обладает недостаточной точностью.

Задачей изобретения является повышение точности контроля электрических и магнитных свойств, параметров дефектов и толщины объектов из электропроводящих материалов, а также повышение точности измерения мгновенных распределений магнитных полей.

Поставленная задача достигается тем, что в способе контроля удельной электропроводности, магнитной проницаемости, а также толщины и дефектов сплошности электропроводящего объекта, в котором на поверхность исследуемого объекта, размещенного под осью линейного индуктора на заданном расстоянии от него, устанавливают обладающий известными магнитными свойствами сплошной или дискретный магнитный носитель, совмещенный с пленочным визуализатором магнитного поля или выполненный в виде указанного визуализатора, обладающего заранее определенными параметрами магнитной анизотропии, определяющими степень его чувствительности к тангенциальной или нормальной составляющей напряженности внешнего магнитного поля по отдельности либо к их сочетанию, затем воздействуют на объект с магнитным носителем импульсом магнитного поля с выбросами прямой и обратной полярности либо последовательностью из заданного числа таких импульсов с временами нарастания и затухания и амплитудами, экспериментально подобранными исходя из условия максимальной чувствительности оптического изображения магнитного поля визуализатора к изменению искомых свойств объекта, считывают с визуализатора информацию и получают оптическое изображение, соответствующее пространственному распределению магнитного поля носителя с объектом, выделяют на нем участок, в границах которого напряженность поля соответствует предварительно заданному уровню, и присваивают ему заданный цвет или уровень серого, а затем определяют искомые свойства объекта путем сравнения указанного участка изображения с ограниченными и окрашенными по тому же критерию участками эталонных изображений, полученных заранее при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами, с поочередным наложением указанных участков изображений друг на друга и их взаимным вычитанием по элементам разложения в растр.

Сущность изобретения поясняется фиг. 1-10.

На фиг. 1 представлена зависимость  $y_{11}(x)$  тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля, создаваемого линейным индуктором, от расстояния  $x$  до проекции оси индуктора на поверхность контролируемого объекта. Расстояние  $h$  оси индуктора до поверхности объекта  $h = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ . Ось индуктора параллельна поверхности объекта. Размерность по оси абсцисс -  $\text{sm}$ , по оси ординат -  $\text{A/sm}$ .

На фиг. 2 изображена зависимость  $y_{12}(x)$  нормальной составляющей напряженности магнитного поля, созданного линейным индуктором, от расстояния  $x$  до проекции оси индуктора.

На фиг. 3 изображена зависимость  $y_{13}(x)$  нормальной составляющей напряженности магнитного поля, взятой по абсолютной величине, от расстояния  $x$  до проекции оси индуктора.

На фиг. 4 показана зависимость  $y_{14}(x)$ , представляющая собой разность зависимостей  $y_{11}(x)$  и  $y_{13}(x)$ , полученная для одинаковых значений аргумента  $x$ :  $y_{14}(x) = y_{11}(x) - y_{13}(x)$ .

На фиг. 5 показана зависимость  $y_{15}(x)$ , полученная путем умножения значений зависимости  $y_{13}(x)$  на 2.

На фиг. 6 изображена зависимость  $y_{16}(x)$ , представляющая собой разность зависимостей  $y_{11}(x)$  и  $y_{15}(x)$ :  $y_{16}(x) = y_{11}(x) - y_{15}(x)$ , а на фиг. 7 - зависимость  $y_{17}(x)$ , представляющая собой разность зависимостей  $y_{11}(x)$  и  $y_{12}(x)$ :  $y_{17}(x) = y_{11}(x) - y_{12}(x)$ .

На фиг. 8 показаны зависимости  $y_{161}(x) - y_{169}(x)$  суммарной составляющей импульсного магнитного поля, записанной на магнитном носителе при воздействии на него магнитным полем линейного индуктора от расстояния  $x$  до проекции оси индуктора на МН. Функции записаны для МН, у которого анизотропия  $H_n$  в четыре раза больше, чем анизотропия  $H_t$  и не зависит от знака  $H_n$ . Тогда суммарное поле будет равно алгебраической сумме (арифметической разности  $H_t$  и  $H_n$ ), несмотря на то, что по определению суммарное поле равно векторной сумме тангенциальной и нормальной составляющих. Точнее говоря, это поле является действующим для МН (визуализатора), не реагирующего на знак  $H_n$ . При этом на МН воздействовали также постоянным магнитным полем, напряженность которого убывала линейно с расстоянием  $x$ . Поэтому каждая зависимость  $y(x)$  смещена относительно последующей зависимости на 20A/sm (фиг. 8).

На фиг. 9 изображены зависимости  $z_1(x_1) - z_{12}(x_{12})$  в виде отрезков прямых, параллельных оси  $ox$  и представляющих собой фрагменты оптических изображений магнитных полей, полученных путем "среза" зависимостей  $y_{161}(x) - y_{169}(x)$  по уровню напряженности магнитного поля 340 A/sm. Здесь же показаны боковые стороны трапеций  $z_{13}(x_{13})$ ,  $z_{14}(x_{14})$ ,  $z_{15}(x_{15})$  и  $z_{16}(x_{16})$ , построенные на фрагментах оптических изображений магнитных полей. По оси ординат отложено расстояние  $z$ , выраженное в sm.

На фиг. 10 показаны контуры оптических изображений в виде двух трапеций со сторонами, представленными зависимостями  $z_1(x_1)$  (нижняя сторона левой трапеции),  $z_{11}(x_{11})$  (верхняя сторона левой трапеции) и зависимостями  $z_{15}(x_{15})$  и  $z_{16}(x_{16})$  соответственно для левой и правой стороны левой трапеции. Для правой трапеции это будут соответственно зависимости  $z_2(x_2)$  (нижняя сторона правой трапеции),  $z_{12}(x_{12})$  (верхняя сторона правой трапеции) и  $z_{14}(x_{14})$  и  $z_{13}(x_{13})$  соответственно для левой и правой стороны правой трапеции. Здесь также показаны контуры оптических изображений в виде двух боковых полос, представленных зависимостями  $z_{20}(x_{20})$  и  $z_{19}(x_{19})$  соответственно для левой и правой стороны левой полосы,  $z_{17}(x_{17})$  и  $z_{18}(x_{18})$  (соответственно для левой и правой стороны правой полосы).

Изобретение осуществляют следующим образом.

На поверхность исследуемого объекта, размещенного под осью линейного индуктора на заданном расстоянии от него, устанавливают обладающий известными магнитными свойствами сплошной или дискретный магнитный носитель (МН), совмещенный с пленочным визуализатором магнитного поля или выполненный в виде указанного визуализатора, обладающего заранее определенными параметрами магнитной анизотропии, определяющими степень его чувствительности к тангенциальной или нормальной составляющей напряженности внешнего магнитного поля по отдельности либо к их сочетанию. Воздействуют на объект серией импульсов магнитного поля или одиночным импульсом магнитного поля с выбросами поля прямой и обратной полярности либо последовательно из заданного числа таких импульсов с временами нарастания и затухания и амплитудами, экспериментально подобранными исходя из условия максимальной чувствительности оптического изображения магнитного поля визуализатора к изменению искомым свойств объекта. Затем считывают с визуализатора информацию и получают оптическое изображение, соответствующее пространственному распределению магнитного поля носителя с объектом. Считывание осуществляют с помощью преобразователя оптического

излучения в электрический сигнал в поляризованном свете (магнитооптическая пленка, состояние доменной структуры) или неполяризованном свете (флюкс детектор, ориентация магнитных частиц). Запись поля можно осуществлять без магнитного носителя непосредственно на визуализатор. Полученную информацию в виде кадров разложения в растр по элементам строки записывают на элементы памяти и производят их компьютерную обработку. При этом выделяют на МН участок, в границах которого напряженность поля соответствует предварительно заданному уровню, и присваивают ему заданный цвет или уровень серого. После этого определяют искомые свойства объекта путем сравнения указанного участка изображения с ограниченными и окрашенными по тому же критерию участками эталонных изображений, полученных заранее при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами. Сравнение свойств осуществляют с поочередным наложением указанных участков изображений друг на друга и проведением с ними алгебраических операций (вычитания, разницы и так далее) по элементам разложения в растр.

Результат воздействия магнитным полем на пленочный визуализатор зависит от анизотропии свойств этого визуализатора. Так, с помощью магнитооптических пленок, в которых вектор намагниченности насыщения доменов направлен перпендикулярно плоскости пленки, можно измерять нормальную составляющую напряженности магнитного поля  $H_n$ . При этом изменение направления  $H_n$  на  $180^\circ$  меняет тон участков оптического изображения, наблюдаемого в поляризованном свете (растут "темные" домены за счет "светлых" или наоборот).

Частицы флюкс детекторов реагируют на обе составляющие ( $H_t$  и  $H_n$ ). Например, воздействие составляющей  $H_t$  соответствует светлому тону, а  $H_n$  - темному. Изменение направления  $H_t$  или  $H_n$  на противоположное влияния на результат не оказывает, то есть тон используемых флюкс детекторов зависит от абсолютной величины  $H_t$  и  $H_n$ .

Магнитный носитель с визуализацией изображения магнитных полей, например пленочный флюкс детектор, может визуализировать как тангенциальную составляющую, так и нормальную составляющую напряженности магнитного поля. Поэтому сначала определяют параметры анизотропии магнитного носителя или магнитного визуализатора.

Например, при ориентации напряженности магнитного поля перпендикулярно плоскости пленки ( $H_n$ ) индикатор становится темным, а при ориентации параллельно плоскости пленки ( $H_t$ ) - светлым. Если анизотропия свойств пленки отсутствует и индикатор воспринимает  $H_t$  и  $H_n$  с одинаковой чувствительностью, то при равенстве величин  $H_t$  и  $H_n$  пленка сохраняет первоначальное состояние, соответствующее отсутствию внешнего магнитного поля. Пусть напряженность горизонтальной составляющей под осью линейного проводника  $1000 \text{ A/sm}$  при расстоянии  $h = 0,6 \text{ sm}$  от поверхности объекта. Тогда зависимость  $H_t$ , обозначенной на фиг. 1 через  $y11(x)$ , от расстояния  $x$  до проекции оси на поверхность объекта:

$$y11(x) = 360 / (x^2 + 0,36). \quad (1)$$

Зависимость  $H_n$ , обозначенной на фиг. 2 через  $y12(x)$ , от  $x$  в этом случае определяется по формуле:

$$y12(x) = 216 \cdot x / (x^2 + 0,36), \quad (2)$$

а зависимость абсолютной величины  $H_n$ , обозначенной на фиг. 3 через  $y13(x)$ , от  $x$ :

$$y13(x) = 216 \cdot |x| / (x^2 + 0,36). \quad (3)$$

Как уже было сказано, несмотря на то, что  $H_t$  и  $H_n$  ориентированы под прямым углом друг к другу, их влияние на состояние пленки (темное или светлое) таково, что суммарное поле будет равно их алгебраической сумме.

Следовательно, суммарный сигнал от участков пленки определяется функцией  $y14(x)$ :

$$y14(x) = 360 / (x^2 + 0,36) - 216 \cdot |x| / (x^2 + 0,36). \quad (4)$$

Если чувствительность пленки в нормальном направлении в 2 раза выше, чем в тангенциальном, то это эквивалентно воздействию на нее полем, определяемым зависимостью  $y_{15}(x)$ , полученной путем умножения значений зависимости  $y_{13}(x)$  на 2:

$$y_{15}(x) = 432 \cdot |x| / (x^2 + 0,36). \quad (5)$$

Тогда суммарный сигнал от участков пленки определяется функцией  $y_{16}(x)$ :

$$y_{16}(x) = 360 / (x^2 + 0,36) - 432 \cdot |x| / (x^2 + 0,36). \quad (6)$$

Если индикатор магнитного поля реагирует на направление  $H_n$  и его чувствительность одинакова в тангенциальном и нормальном направлении, то суммарный сигнал от участков пленки определяется функцией  $y_{17}(x)$ :

$$y_{17}(x) = 360 / (x^2 + 0,36) - 216 \cdot x / (x^2 + 0,36). \quad (7)$$

На основании полученных зависимостей (фиг. 1-7) формируют оптические изображения магнитных полей линейного индуктора. Для этого определяют уровень сигнала, которому вводят в соответствие уровень (градацию) серого по шкале серого или уровень цветности по шкале цветности. После этого ограничивают сигнал изображения по этому уровню и для всех участков, сигнал которых превышает установленный уровень, устанавливают выбранный уровень серого или уровень цветности. Таким образом, все участки оптического изображения с уровнем сигнала выше установленного будут иметь один и тот же оттенок серого или оттенок цветности (одну и ту же градацию). Так создали оптическое изображение распределения магнитного поля. Это изображение включает в себя все участки МН, на которые воздействовали магнитным полем с напряженностью выше заданной величины. Это изображение принимают за эталон. После этого воздействуют на контролируемый объект такой же последовательностью импульсов магнитного поля или одним таким же импульсом сложной формы и получают оптическое изображение магнитного поля, отличное от эталонного изображения. Сравнивая эти два изображения, определяют электрические и магнитные свойства объекта.

Если анизотропия МН позволяет измерять только тангенциальную составляющую напряженности магнитного поля, а зависимость  $H_t$  от расстояния  $x$  до проекции оси индуктора на МН для указанной высоты индуктора такая, как представлена на фиг. 1, тогда действуют следующим образом. Задают уровень напряженности магнитного поля, например, 400 А/см. Тогда оптическим изображением магнитного поля будет являться полоса под осью линейного индуктора шириной около 2 см (по "срезу" 400 А/см, фиг. 1).

Если анизотропия МН позволяет измерять только нормальную составляющую напряженности магнитного поля (фиг. 2), то задают уровень, например, 100 А/см и получают оптическое изображение магнитного поля в виде полосы шириной порядка 1,5 см, параллельной проекции оси индуктора и расположенной от нее на расстоянии в доли сантиметра. Окрашивают эту полосу, например, в красный цвет. Задают уровень -100 А/см и получают такую же полосу с другой стороны проекции оси индуктора, которую окрашивают, например, в зеленый цвет. Оптическое изображение магнитного поля, показанного на фиг. 2, будет состоять из двух полос - красной и зеленой.

Если анизотропия МН не зависит от знака нормальной составляющей (фиг. 3), то оптическое изображение магнитного поля будет состоять из двух красных полос, расположенных симметрично относительно оси индуктора, и при уровне 100 А/см их ширина будет также равной 1,5 см, такой анизотропией обладают некоторые типы флюкс детекторов.

В случае когда МН обладает одинаковой анизотропией  $H_t$  и  $H_n$  и анизотропия  $H_n$  не зависит от знака  $H_n$  (фиг. 4), зависимость  $y_{14}(x)$ , представляющая собой разность зависимостей  $y_{11}(x)$  и  $y_{13}(x)$ , при уровне 100 А/см позволяет получить оптическое изображение магнитного поля в виде полосы шириной примерно 2,5 см под осью линейного индуктора.

В случае когда анизотропия  $H_n$  в два раза больше анизотропии  $H_t$  и анизотропия  $H_n$  не зависит от знака  $H_n$  (фиг. 5), то зависимость  $y_{16}(x)$  (фиг. 6), представляющая собой разность зависимостей  $y_{11}(x)$  и  $y_{15}(x)$ , при уровне 100 А/см позволяет получить оптическое

изображение магнитного поля в виде полосы шириной примерно 2 см под осью линейного индуктора и две симметричные относительно проекции оси индуктора полосы шириной по 2 см, полученные для уровня -100 А/см. Полное оптическое изображение будет состоять из центральной красной полосы и двух боковых зеленых полос.

Если анизотропия  $H_n$  такая же, как анизотропия  $H_t$ , причем анизотропия  $H_n$  зависит от знака  $H_n$  (фиг. 2), то зависимость  $y_{17}(x)$  (фиг. 7), представляющая собой разность зависимостей  $y_{11}(x)$  и  $y_{12}(x)$  при уровне 100 А/см позволяет получить оптическое изображение магнитного поля в виде полосы шириной примерно 4,5 см под осью линейного индуктора и одной полосы справа от нее шириной 4 см, полученной для уровня -20 А/см. Полное оптическое изображение будет состоять из центральной красной полосы и одной зеленой полосы справа.

С помощью оптических изображений магнитного поля можно определять электрические и магнитные свойства объектов, неоднородность их распределений, а также измерять напряженность магнитного поля и находить ее пространственное распределение. Пусть МН помещен в постоянное магнитное поле, напряженность которого убывает линейно с расстоянием 2 с градиентом напряженности 20 А/см. Если это поле отсутствует, то при воздействии на МН импульсом магнитного поля линейного индуктора получается оптическое изображение магнитного поля в виде двух полос, расположенных симметрично относительно оси индуктора (фиг. 10). Пусть анизотропия свойств  $H_n$  МН в четыре раза больше анизотропии  $H_t$  и не зависит от знака  $H_n$ . Тогда функция  $y_{161}(x)$  равна:

$$y_{161}(x) = 360 / (x^2 + 0,36) - 864|x| / (x^2 + 0,36), \quad (8)$$

а последующие функции:

$$y_{162}(x) = 360 / (x^2 + 0,36) - 864|x| / (x^2 + 0,36) - 20... \quad (9)$$

$$y_{169}(x) = 360 / (x^2 + 0,36) - 864|x| / (x^2 + 0,36) - 160, \quad (10)$$

так как МН помещен в постоянное магнитное поле с указанным градиентом.

В указанном линейно убывающем магнитном поле в результате воздействия таким же импульсом, как и в отсутствие постоянного магнитного поля, получают оптическое изображение магнитного поля в виде двух трапеций, симметрично расположенных относительно проекций оси индуктора (фиг. 10). Последовательность действий для получения такого изображения показана на фиг. 8 - 10. На фиг. 8 показаны зависимости  $y_{161}(x)$  -  $y_{169}(x)$  суммарной составляющей импульсного магнитного поля, записанной на магнитном носителе при воздействии на него магнитным полем линейного индуктора на разных участках плоскости под ним от расстояния до проекции оси индуктора  $x$ . При этом на МН воздействовали также постоянным магнитным полем, напряженность которого убывала линейно с расстоянием  $z$ . Каждая зависимость  $y(x)$  смещена относительно последующей зависимости на 20 А/см.

На фиг. 9 изображены зависимости  $z_1(x_1) - z_{12}(x_{12})$  в виде отрезков прямых, параллельных оси  $ox$  и представляющих собой фрагменты оптических изображений магнитных полей, полученных путем "среза" зависимостей  $y_{161}(x) - y_{169}(x)$  по уровню напряженности магнитного поля 340 А/см. По оси ординат отложено расстояние  $z$ , выраженное в см.

На фиг. 10 изображены контуры оптических изображений в виде двух трапеций со сторонами, представленными зависимостями  $z_1(x_1)$  (нижняя сторона левой трапеции):

$$z_1(x_1) = 4, x_1 \text{ в интервале } [-0,95...-1,5]$$

и  $z_{11}(x_{11})$  (верхняя сторона левой трапеции):

$$z_{11}(x_{11}) = 9, x_{11} \text{ в интервале } [-0,67...-2,67]$$

и зависимостями  $z_{15}(x_{15})$  и  $z_{16}(x_{16})$  соответственно для левой и правой стороны левой трапеции:

$$z_{15}(x_{15}) = -4,349x_{15} - 2,525, x_{15} \text{ в интервале } [-1,5...-2,65],$$

$$z_{16}(x_{16}) = 17,86x_{16} + 20,97, x_{16} \text{ в интервале } [-0,67...-0,95].$$

Для правой трапеции это будут соответственно зависимости  $z_2(x_2)$  (нижняя сторона правой трапеции),  $z_{12}(x_{12})$  (верхняя сторона правой трапеции) и  $z_{14}(x_{14})$  и  $z_{13}(x_{13})$  соответственно для левой и правой стороны правой трапеции. Здесь также показаны контуры оптических изображений в виде двухбоковых сторон полос, представленных зависимостями  $z_{20}(x_{20})$  и  $z_{19}(x_{19})$  соответственно для левой и правой стороны левой полосы,  $z_{17}(x_{17})$  и  $z_{18}(x_{18})$  соответственно для левой и правой стороны правой полосы.

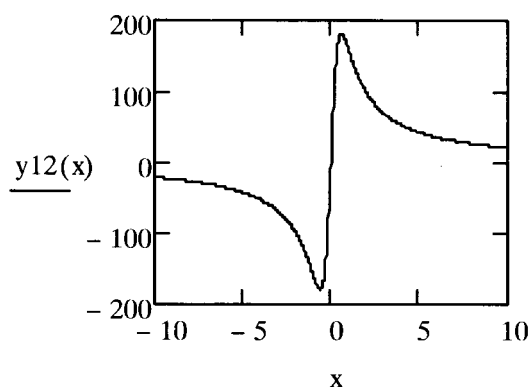
Таким образом, основными характеристиками, определяющими параметры оптического изображения магнитного поля, являются: амплитуда напряженности импульсов магнитного поля источника, их число, декремент затухания амплитуды импульсов, расстояние оси индуктора до магнитного носителя (объекта), магнитные и гистерезисные свойства магнитного носителя и визуализатора, уровни "среза" магнитного поля и соответствующие им уровни серого и уровни цветности оптического изображения, ширина полос оптического изображения и их геометрические параметры.

Для повышения точности контроля свойств объектов и нахождения распределений магнитных полей используют не один уровень "среза", а множество уровней. Для этого задают последовательность амплитуд импульсов, и величины уровней "срезов", и шаг между ними. При использовании данного способа следует также учитывать число перемагничиваний МН и визуализатора в каждой точке их поверхности.

Свойства объекта определяют путем сравнения полученных оптических изображений с предварительно найденными аналогичными изображениями для эталонных объектов и в их отсутствие путем наложения изображений друг на друга с проведением операций вычитания по элементам разложения в растр. Амплитуды всех импульсов магнитного поля подбирают исходя из условия максимальной чувствительности изменения параметров оптического изображения магнитного поля к изменению искомым свойств объекта относительно свойств эталонных объектов. Способ позволяет определять удельную электропроводность, магнитную проницаемость, толщину объекта и его геометрические размеры, а также дефекты сплошности и неоднородности структуры в нем.

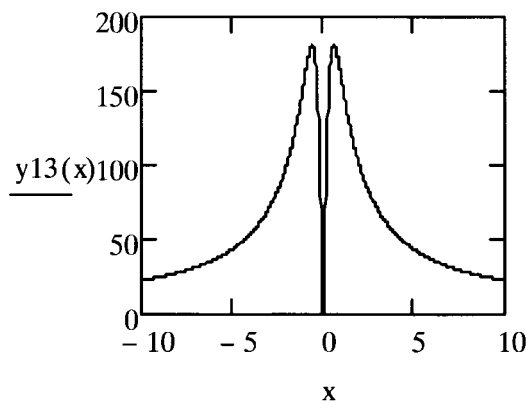
Источники информации:

1. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Шарпа. - М.: Мир, 1972. - С. 394-412.
2. Патент ВУ 10464, МПК G 01N 27/00, 2008.
3. Патент ВУ 16816, МПК G 01N 27/72, 2013 (прототип).

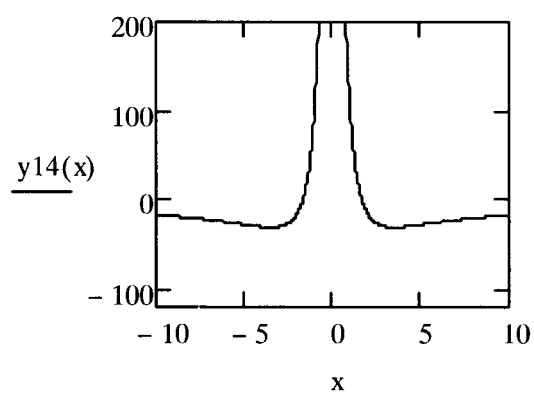


Фиг. 2

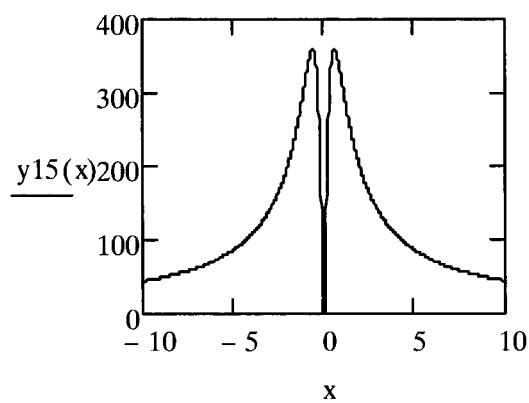




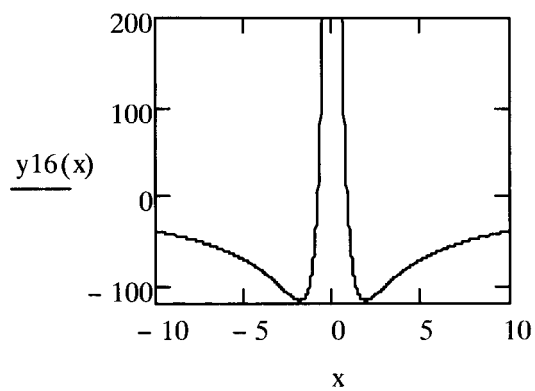
Фиг. 3



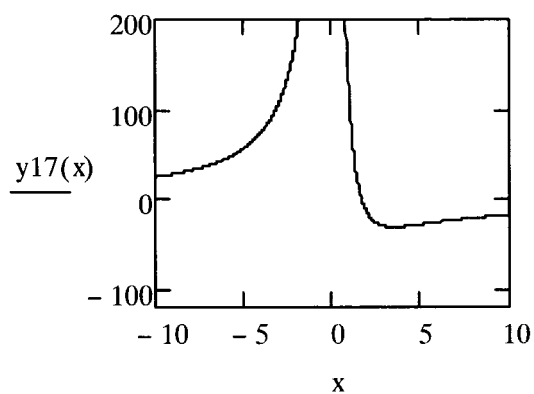
Фиг. 4



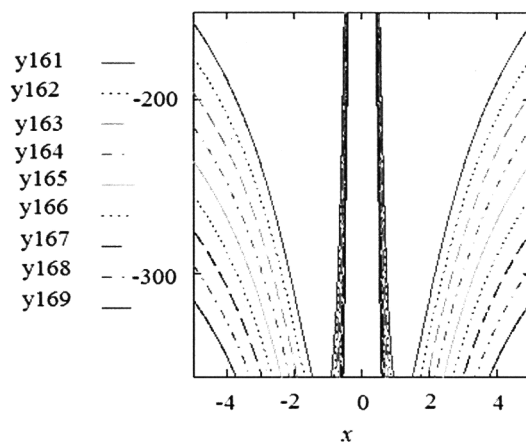
Фиг. 5



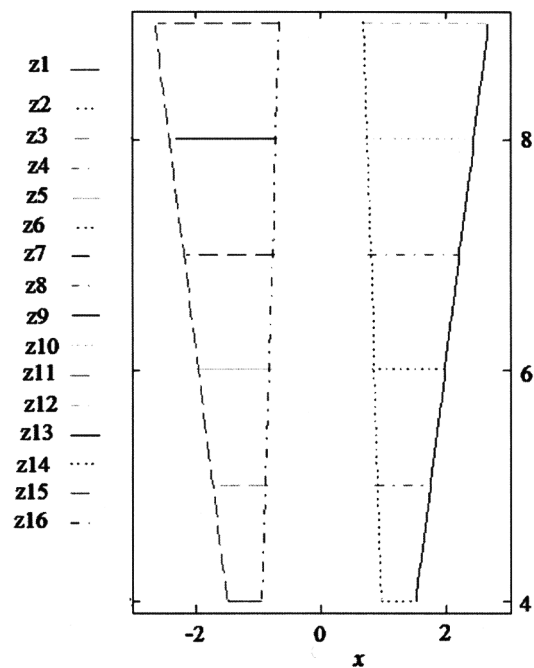
Фиг. 6



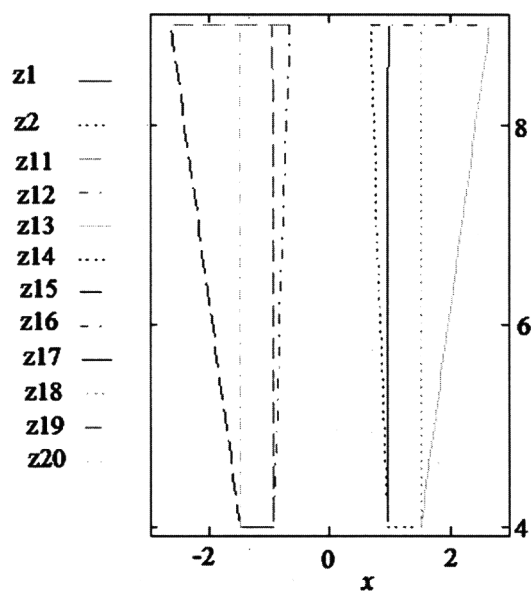
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10