



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014108189/28, 03.03.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.03.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.03.2014

(45) Опубликовано: 10.09.2015 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 1580452 A1, 23.07.1990. RU 2185617 C2, 20.07.2002. SU 1527482 A1, 07.12.1989. RU 2057283 C1, 27.03.1996

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13, ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина", Отдел интеллектуальной собственности, Кацману К.Б.

(72) Автор(ы):

**Ивашин Анатолий Федорович (RU),
Попов Илья Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация "Росатом") (RU),
Федеральное государственное унитарное предприятие "РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР - ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.И. ЗАБАБАХИНА" (RU)**

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ОБЪЕКТОВ

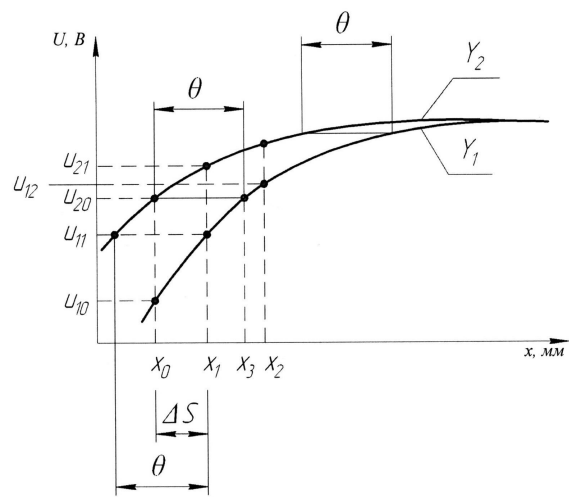
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к области создания средств и методов бесконтактных измерений изменений зазоров между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью. Способ измерения нестационарных перемещений электропроводящих объектов заключается в том, что используют бесконтактное измерительное устройство с первичным измерительным преобразователем, чувствительные элементы которого, электрически независимые друг от друга, устанавливают на одной базе со смещением в направлении объекта контроля, по показаниям измерительного устройства рассчитывают значение перемещения объекта контроля относительно измерительного устройства,

согласно изобретению смещение между чувствительными элементами заменяют на эквивалентное расстояние между ними, оптимальное значение которого рассчитывают при градуировке измерительного устройства. Вычисляют i -ые приращения перемещения, а полное перемещение объекта контроля относительно измерительного устройства определяют, суммируя все i -е приращения перемещений. Технический результат заключается в повышении точности измерения нестационарных перемещений электропроводящих объектов с различной проводимостью и конфигурацией в труднодоступных местах при переменных внешних климатических условиях. 5 ил.

RU 2 561 792 C1

RU 2 561 792 C1



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014108189/28, 03.03.2014

(24) Effective date for property rights:
03.03.2014

Priority:

(22) Date of filing: 03.03.2014

(45) Date of publication: 10.09.2015 Bull. № 25

Mail address:

456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk, ul.
Vasil'eva, 13, FGUP "RFJaTs-VNIITF im. akadem.
E.I. Zababakhina", Otdel intellektual'noj
sobstvennosti, Katsmanu K.B.

(72) Inventor(s):

Ivashin Anatolij Fedorovich (RU),
Popov Il'ja Aleksandrovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj
vystupaet Gosudarstvennaja korporatsija po
atomnoj ehnergii "Rosatom" (Goskorporatsija
"Rosatom") (RU),
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatje "ROSSIJSKIJ FEDERAL'NYJ
JaDERNYJ TsENTR - VSEROSIJSKIJ
NAUChNO-ISSLEDOVATEL'SKIJ INSTITUT
TEKhNICHESKOJ FIZIKI IMENI
AKADEMIKA E.I. ZABABAKhINA" (RU)

(54) **MEASUREMENT OF UNSTEADY DISPLACEMENTS OF ELECTRICALLY CONDUCTING OBJECTS**

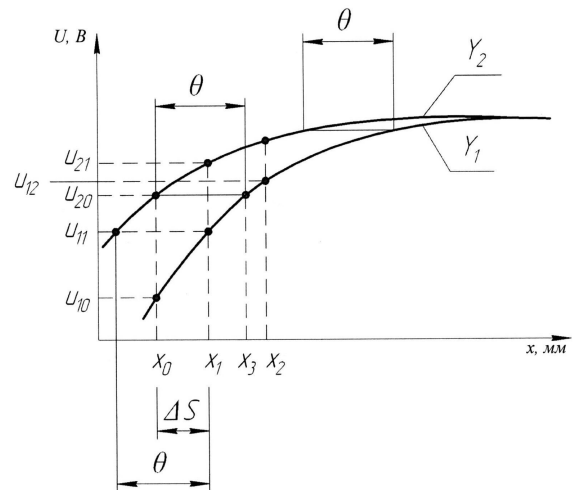
(57) Abstract:

FIELD: instrumentation.

SUBSTANCE: in compliance with this invention, contactless meter with primary transducer is used. Sensitive elements of the latter, electrically independent, are set at one base with shift to controlled object. Readings of said meter are used to calculate the controlled object shift relative to said meter. In compliance with this invention, shift between sensitive elements is changed by equivalent spacing there between. Optimum magnitude of this shift is calculated at graduation of said meter. Calculated are i^{th} increments of displacement while full displacement of controlled object relative to the meter is defined by summing of all i^{th} increments of shifts.

EFFECT: higher accuracy of unsteady displacements under variable outer climatic conditions.

5 dwg



Фиг.1

RU 2 561 792 C1

RU 2 561 792 C1

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к области создания средств и методов бесконтактных измерений изменений зазоров между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью, которые в дальнейшем используются для определения относительных перемещений элементов машин и механизмов в динамических режимах работы.

Известен способ измерения толщины плакировки зазора между измерительным преобразователем вихретокового типа и контролируемой поверхностью с итерационно-тестовой коррекцией погрешности [Герасимов В.Г. и др. «Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий», М.: Энергоатомиздат, 1983 г., 256 с.].

Сущность способа состоит в том, что выполняют опорное измерение при начальном значении зазора между измерительным преобразователем и контролируемой областью объекта контроля, запоминают результаты измерения с последующим изменением зазора в сторону его увеличения на фиксированную образцовую величину путем размещения между измерительным преобразователем и контролируемой областью объекта (без воздушного зазора) специального элемента с заранее измеренной эталонной толщиной, выполняют дополнительное измерение, вычисляют расчетные значения толщины плакировки на основе результатов опорного и дополнительного измерений и принятой величины начального зазора.

Недостатком данного способа является то, что измерение зазора в данном способе осуществляют путем размещения без воздушного зазора между измерительным преобразователем и контролируемой областью объекта специального элемента эталонной толщины, что сужает область применения указанного способа в промышленности. Так, например, измерение зазора между измерительным преобразователем и подвижным объектом становится невозможным.

Известен способ измерения зазора между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью в динамическом режимах [патент РФ №2327104, G01B 7/14, опубликован 20.06.2008 г.]. Сущность способа состоит в следующем. При использовании бесконтактного измерительного устройства (например, с вихретоковым преобразователем), градуировочная характеристика которого выполнена линейной, зависимость выходного параметра от измеряемой величины записывают в виде выражения

$$y = a_{1i} + a_{2i} \cdot x, \quad (1)$$

где y - выходной параметр измерительного устройства на i -ой градуировочной характеристике, м;

x - измеряемый зазор между измерительным преобразователем измерительного устройства и контролируемой областью объекта контроля, м;

a_{1i}, a_{2i} - параметры i -ой градуировочной характеристики.

При надлежащих установке измерительного преобразователя относительно измеряемого объекта и настройке измерительного устройства может быть принято допущение

$$a_{1i} = 0. \quad (2)$$

Тогда уравнение (1) преобразуют к виду

$$y = a_{2i} \cdot x. \quad (3)$$

Из данного выражения следует, что выходной параметр измерительного устройства пропорционален не только измеряемому зазору x , но и параметру a_{2i} i -ой

градуировочной характеристики, являющемуся, по существу, коэффициентом усиления измерительного тракта, который в общем случае зависит от многих параметров, в том числе от внешних воздействий на объект измерения и элементы измерительного устройства.

5 Поэтому целесообразно осуществлять коррекцию параметра a_{2i} в процессе измерений, что позволяет повышать точность измерений. Это может быть выполнено, например, путем проведения опорного измерения и дополнительного измерения при увеличенном на образцовую величину зазоре. При этом получают систему двух уравнений с одинаковым параметром a_{2i} , поскольку измерения проводят на одном объекте при
10 идентичных возмущающих воздействиях, влияющих на указанный параметр

$$\begin{cases} y_1 = a_{2i} \cdot x; \\ y_2 = a_{2i} \cdot (x + \delta_0), \end{cases} \quad (4)$$

15 где δ_0 - образцовая величина изменения зазора, м.

Решение системы (4) имеет следующий вид

$$a_{2i} = \frac{y_2 - y_1}{\delta_0}, \quad x = \frac{y_2 - \delta_0}{y_2 - y_1}. \quad (5)$$

20 Из выражения (5) следует, что расчетное значение зазора не зависит от указанной выше нестабильности параметра a_{2i} . При этом обеспечивается повышение точности измерений. В случае уменьшения зазора на образцовую величину систему исходных уравнений записывают аналогично системе (4)

$$\begin{cases} y_1 = a_{2i} \cdot x; \\ y_2 = a_{2i} \cdot (x - \delta_0), \end{cases} \quad (6)$$

Решение данной системы имеет вид

$$30 \quad a_{2i} = \frac{y_2 - y_1}{-\delta_0}, \quad x = \frac{-y_1 - \delta_0}{y_2 - y_1} \quad (7)$$

Таким образом, выражения (5) и (7) обеспечивают достаточно простую корректировку параметра a_{2i} линейной градуировочной характеристики измерительного устройства при любом направлении изменения зазора, что позволяет существенно снизить
35 отрицательное влияние ряда факторов на результат измерения и повысить его точность.

Недостатком данного способа является необходимость образцового изменения зазора, что часто бывает невозможным, если первичный преобразователь стоит в труднодоступном месте (например, внутри работающего механизма).

Известен способ измерения расстояния до электропроводящего объекта с
40 использованием бесконтактного измерительного устройства с первичным измерительным преобразователем (например, индуктивного или вихретокового типа) [Бромберг Э.М., Куликовский К.Л., «Тестовые методы повышения точности измерений», М.: Энергия, 1978 г., 150-152 с.], заключающийся в том, что используют бесконтактное измерительное устройство с первичным измерительным преобразователем,
45 чувствительные элементы которого, электрически независимые друг от друга, устанавливают на одной базе со смещением θ в направлении объекта контроля, по показаниям измерительного устройства рассчитывают значение перемещения объекта контроля относительно измерительного устройства.

В известном способе результат измерения не зависит от коэффициента преобразования измерительного тракта и параметров контролируемого объекта (проводимость, геометрия и др.), а определяется только стабильностью и точностью определения смещения θ , значение которой определяется при градуировке прибора.

5 Недостатком данного способа является недостаточная точность, получаемая в реальных условиях применения, при которых имеются отклонения характеристик чувствительных элементов измерительного устройства друг от друга, что приводит к отклонению статических характеристик преобразования и к увеличению погрешности измерения. Так же данный способ не используется в труднодоступных местах.

10 Данный способ принимается за прототип как наиболее близкий к заявляемому.

Техническим результатом, на достижение которого направлено заявляемое изобретение, является повышение точности измерения нестационарных перемещений электропроводящих объектов с различной проводимостью и конфигурацией в труднодоступных местах при переменных внешних климатических условиях.

15 Указанный технический результат достигается тем, что способ измерения нестационарных перемещений электропроводящих объектов заключается в том, что используют бесконтактное измерительное устройство с первичным измерительным преобразователем, чувствительные элементы которого, электрически независимые друг от друга, устанавливаются на одной базе со смещением θ в направлении объекта контроля, по показаниям измерительного устройства рассчитывают значение перемещения объекта контроля относительно измерительного устройства, согласно изобретению смещение θ между чувствительными элементами заменяют на эквивалентное расстояние h_j между ними, оптимальное значение которого рассчитывают при градуировке измерительного устройства по формуле:

$$25 \quad h_{j,j} = x_k - x_j + \frac{K_U \cdot U_{2j} - U_{1k}}{U_{1(k+1)} - U_{1k}} \cdot (x_{k+1} - x_k),$$

где $h_{j,j}$ - эквивалентное расстояние при j -ом значении воспроизводимого зазора;

30 x_k, x_j, x_{k+1} - k -ый, j -ый, $(k+1)$ -ый воспроизводимый зазор;

k - порядковый номер воспроизводимого зазора, для которого выполняется условие:
 $U_{1k} < U_{2j} \leq U_{1(k+1)}$;

$j=0, \dots, M$ - порядковый номер воспроизводимого зазора;

K_U - корректирующий коэффициент;

35 $U_{1k}, U_{1(k+1)} (U_{2j})$ - напряжение первого(второго) чувствительного элемента, при k -ом, $(k+1)$ -ом (j -ом) измерении соответственно, полученные значения эквивалентного расстояния $h_{j,j}$ линейно аппроксимируют согласно выражению:

$$40 \quad h'_j = a \cdot x + h_0,$$

где h'_j - значение аппроксимирующей функции $h_{j,j}$;

a - тангенс угла наклона аппроксимирующей прямой;

x - воспроизводимый зазор;

45 h_0 - оптимальное значение эквивалентного расстояния, при этом подбирают значение корректирующего коэффициента K_U , при котором $a=0$, а эквивалентное расстояние h_j оптимально, выполняют N измерений напряжения чувствительных элементов, вычисляют

скорректированное значение напряжения второго чувствительного элемента U'_{2i} по формуле:

$$U'_{2i} = U_{2i} \cdot K_U,$$

где U_{2i} - измеренное напряжение второго чувствительного элемента;

$i=1 \dots N$ - порядковый номер измерения;

K_U - корректирующий коэффициент, вычисляют i -ые приращения перемещения ΔS_i , по формуле:

$$\Delta S_i = \left(\frac{U_{1i} - U_{1(i-1)}}{U'_{2(i-1)} - U_{1(i-1)}} + \frac{U'_{2i} - U'_{2(i-1)}}{U'_{2i} - U_{1i}} \right) \cdot \frac{h_3}{2}$$

где $i=1 \dots N$ - порядковый номер измерения напряжения;

U_{1i} и $U_{1(i-1)}$ - значения напряжений первого чувствительного элемента при i -ом и $(i-1)$ -ом измерении;

U'_{2i} и $U'_{2(i-1)}$ - скорректированные значения напряжений второго чувствительного элемента при i -ом и $(i-1)$ -ом измерении;

h_3 - эквивалентное расстояние, а полное перемещение S объекта контроля относительно измерительного устройства определяют по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta S_i$$

где $i=1 \dots N$ - порядковый номер измерения напряжения;

ΔS_i - приращение перемещения.

Наличие в заявляемом изобретении признаков, отличающих его от прототипа, позволяет считать его соответствующим условию «новизна».

Новые признаки, которые содержит отличительная часть формулы изобретения, не выявлены в технических решениях аналогичного назначения. На этом основании можно сделать вывод о соответствии заявляемого изобретения условию «изобретательский уровень».

Изобретение иллюстрируется чертежами:

на фиг.1 представлен график статических характеристики преобразования чувствительных элементов для идеального случая;

фиг.2 - график статических характеристик преобразования чувствительных элементов (выполненных идентично);

фиг.3 - график статических характеристик преобразования чувствительных элементов в случае неидентичности параметров чувствительных элементов;

фиг.4 - схема устройства, реализующего заявляемый способ;

фиг.5 - схема расположения чувствительных элементов вихретокового первичного преобразователя.

Предлагаемый способ реализуется следующим образом

Для измерения перемещения объекта контроля относительно измерительного устройства используют бесконтактное измерительное устройство (например, вихретоковое) с двумя идентичными чувствительными элементами, находящимися на одной оси со смещением θ друг относительно друга. Статические характеристики преобразования чувствительных элементов описывают функциями:

$$Y_1 = f(x); \quad Y_2 = f(x + \theta). \quad (8)$$

Пусть в момент времени t_0 зазор между чувствительными элементами первичного преобразователя и объектом контроля равняется x_0 , а в момент времени t_1 - соответственно x_1 (фиг.1).

Тогда перемещение ΔS за промежуток времени $(t_1 - t_0)$ равно:

$$\Delta S = x_1 - x_0. \quad (9)$$

Используя линейную аппроксимацию функций Y_1 и Y_2 на участке $x_0 \dots x_1$ и принимая во внимание, что

$$Y_1(x_0) = U_{10}; \quad Y_1(x_1) = U_{11}; \quad Y_1(x_3) = U_{13} = U_{20};$$

$$Y_2(x_0) = U_{20}; \quad Y_2(x_1) = U_{21}$$

получают две системы уравнений:

$$\begin{cases} U_{10} = a_1 + a_2 x_0; \\ U_{11} = a_1 + a_2 (x_0 + \Delta S); \\ U_{20} = U_{13} = a_1 + a_2 (x_0 + \theta); \end{cases} \quad \begin{cases} U_{11} = a_3 + a_4 (x_1 - \theta); \\ U_{20} = a_3 + a_4 x_0; \\ U_{21} = a_3 + a_4 (x_0 + \Delta S); \end{cases} \quad (10)$$

Для полученных систем, выполнив вычитание первого уравнения из третьего, получают:

$$a_2 = \frac{U_{20} - U_{10}}{\theta}; \quad a_4 = \frac{U_{21} - U_{11}}{\theta}. \quad (11)$$

Далее, выполнив вычитание первого уравнения из второго с учетом выражений (11), получают:

$$\Delta S_1 = \frac{U_{11} - U_{10}}{U_{20} - U_{10}} \cdot \theta; \quad \Delta S_2 = \frac{U_{21} - U_{20}}{U_{21} - U_{11}} \cdot \theta, \quad (12)$$

где ΔS_1 (ΔS_2) - перемещение, рассчитанное по функции Y_1 (Y_2).

Выполняют усреднение ΔS полученных данных:

$$\Delta S = \left(\frac{U_{11} - U_{10}}{U_{20} - U_{10}} + \frac{U_{21} - U_{20}}{U_{21} - U_{11}} \right) \frac{\theta}{2}. \quad (13)$$

Т.к. значение смещения θ между плоскостями чувствительных элементов не всегда возможно измерить с достаточной точностью (например, для плоских дисковых катушек, склеенных между собой), то вводят понятие эквивалентного расстояния h_3 , которое определяют расчетным путем с использованием статических характеристик преобразования чувствительных элементов при градуировке измерительного устройства.

Согласно графикам, представленным на фиг.2, эквивалентное расстояние h_3 равно разности x_3 и x_0 . На участке $x_1 \dots x_2$ реальную характеристику функции $Y_1 = f(x)$ заменяют ее кусочно-линейной аппроксимацией:

$$Y_1 = \frac{U_{12} - U_{11}}{x_2 - x_1} \cdot x + \frac{U_{11} x_2 - U_{12} x_1}{x_2 - x_1}. \quad (14)$$

Подставив в уравнение (14) $Y_1 = U_{20}$, определяют зазор x_3 , а следовательно, и

эквивалентное расстояние $h_3 = x_3 - x_0$.

В реальных условиях применения имеются отклонения характеристик чувствительных элементов измерительного устройства друг от друга, что приводит к отклонению статических характеристик преобразования от представленных на фиг.2 и к увеличению погрешности измерения. Поэтому для учета неидентичности чувствительных элементов вводят корректирующий коэффициент K_U и подбирают такое его значение, умножение на которое статической характеристики преобразования одного из чувствительных элементов (например, второго) максимальным образом приблизило бы ее к положению, показанному на фиг.2 (фиг.3).

Эквивалентное расстояние h_3 и корректирующий коэффициент K_U вычисляют при градуировке измерительного устройства в следующей последовательности:

1) чувствительные элементы измерительного устройства устанавливают в устройство воспроизведения перемещений (УВП);

2) между чувствительными элементами и экраном УВП последовательно воспроизводят зазоры x_j (где $j=0, \dots, M$ - порядковый номер воспроизводимого зазора), при этом осуществляют измерения напряжений на выходе измерительного устройства (U_{1j} - для первого и U_{2j} - для второго чувствительного элемента);

3) приняв $K_U=1$, по полученным значениям U_{1j} и U_{2j} вычисляют значения эквивалентного расстояния по формуле:

$$h_{3j} = x_k - x_j + \frac{K_U \cdot U_{2j} - U_{1k}}{U_{1(k+1)} - U_{1k}} \cdot (x_{k+1} - x_k), \quad (15)$$

где k - порядковый номер воспроизведенного зазора x , для которого выполняется условие

$$U_{1k} < U_{2j} \leq U_{1(k+1)} \quad (16)$$

4) выполняют линейную аппроксимацию полученных значений h'_j :

$$h'_j = a \cdot x + h_0;$$

5) изменяя значение K_U , добиваются равенства нулю коэффициента a , при этом эквивалентное расстояние будет равно оптимальному значению h_0 .

Определение перемещений по заявляемому способу осуществляют согласно алгоритму:

1) выполняют N измерений напряжения на выходе измерительного устройства (U_{1i} - для первого и U_{2i} - для второго чувствительного элемента, где $i=0 \dots N$ - порядковый номер измерения) при перемещении электропроводящего объекта в рабочем диапазоне в интересующий промежуток времени;

2) вычисляют скорректированные значения напряжения U'_{2i} по формуле:

$$U'_{2i} = U_{2i} \cdot K_U;$$

3) по полученным значениям U_{1i} и U'_{2i} вычисляют i -ые приращения перемещений по формуле:

$$\Delta S_i = \left(\frac{U_{1i} - U_{1(i-1)}}{U'_{2(i-1)} - U_{1(i-1)}} + \frac{U'_{2i} - U'_{2(i-1)}}{U'_{2i} - U_{1i}} \right) \cdot \frac{h_3}{2}$$

где h_3 - эквивалентное расстояние;

4) вычисляют полное перемещение S :

$$S = \sum_{i=1}^v \Delta S_i.$$

Сущность заявленного способа измерения может быть пояснена с помощью бесконтактного прибора вихретокового типа для измерения перемещения токопроводящего объекта контроля.

Устройство состоит из вихретокового первичного преобразователя (ВТПП) 1, содержащего две тонкие дисковые катушки индуктивности 2 и 3, установленные соосно и смещенные одна относительно другой на нормированное эквивалентное расстояние h_3 вдоль оси, проходящей по нормали через центр дисковой катушки к контролируемому объекту; информационно-преобразующий блок 4, содержащий высокочастотный генератор 5, два ограничительных резистора 6 и 7, два измерительно-преобразующих устройства 8 и 9, каждое из которых состоит из усилителя 10, демодулятора 11, фильтра нижних частот 12 и аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 13; вычислительно-регистрирующего устройства 14 (фиг.4).

Каждая катушка индуктивности выполнена 8-образной (фиг.5). Оси симметрии 8-образных катушек взаимно перпендикулярны, что важно для снижения электромагнитной связи между первой и второй катушками до уровня, обеспечивающего практическую независимость сигналов каждой из них друг от друга.

Работа устройства заключается в следующем: катушки 2 и 3 ВТПП 1 запитываются переменным током от высокочастотного генератора 5 через ограничительные резисторы 6 и 7, сопротивление которых более чем в двадцать раз превышает значение импеданса катушки индуктивности, при отсутствии проводящих объектов в зоне ее чувствительности. Напряжение с катушек 2 и 3 поступает на измерительно-согласующие устройства 8 и 9 соответственно. Напряжение с выхода измерительно-согласующих устройств 8 и 9 преобразуется аналого-цифровым преобразователем 13 в код и передается в вычислительно-регистрирующее устройство 14, где осуществляется вычисление перемещений по алгоритму, изложенному выше.

Таким образом, вышеизложенные сведения свидетельствуют о выполнении при использовании заявленного изобретения следующей совокупности условий:

- способ, воплощающий заявленное изобретение при его осуществлении, предназначен для использования в промышленности, а именно, в области создания средств и методов бесконтактных измерений изменений зазоров (перемещений) между поверхностями элементов машин и механизмов в динамических режимах работы;

- для заявленного способа в том виде, как он охарактеризован в независимом пункте формулы изобретения, подтверждена возможность его осуществления;

- способ, воплощающий заявленное изобретение при осуществлении, повышает точность измерения нестационарных перемещений электропроводящих объектов с различной проводимостью и конфигурацией в труднодоступных местах при переменных внешних климатических условиях.

Следовательно, заявленное изобретение соответствует условию «промышленная применимость».

Формула изобретения

Способ измерения перемещения электропроводящих объектов, заключающийся в том, что используют бесконтактное измерительное устройство с первичным измерительным преобразователем, чувствительные элементы которого, электрически независимые друг от друга, устанавливаются на одной базе со смещением θ в направлении объекта контроля, по показаниям измерительного устройства рассчитывают значение перемещения объекта контроля относительно измерительного устройства, отличающийся тем, что смещение θ между чувствительными элементами заменяют на эквивалентное расстояние h_3 между ними, оптимальное значение которого рассчитывают при градуировке измерительного устройства по формуле:

$$h_{3j} = x_k - x_j + \frac{K_U \cdot U_{2j} - U_{1k}}{U_{1(k+1)} - U_{1k}} \cdot (x_{k+1} - x_k)$$

где h_{3j} - эквивалентное расстояние при j -ом значении воспроизводимого зазора; x_k, x_j, x_{k+1} - k -ый, j -ый, $(k+1)$ -ый воспроизводимый зазор; k - порядковый номер воспроизводимого зазора, для которого выполняется условие: $U_{1k} < U_{2j} \leq U_{1(k+1)}$;

$j=0, \dots, M$ - порядковый номер воспроизводимого зазора; K_U - корректирующий коэффициент; $U_{1k}, U_{1(k+1)} (U_{2j})$ - напряжение первого (второго) чувствительного элемента, при k -ом, $(k+1)$ -ом (j -ом) измерении соответственно, полученные значения эквивалентного расстояния h_{3j} линейно аппроксимируют согласно выражению:

$$h'_3 = a \cdot x + h_0,$$

где h'_3 - значение аппроксимирующей функции h_{3j} ;

a - тангенс угла наклона аппроксимирующей прямой;

x - воспроизводимый зазор;

h_0 - оптимальное значение эквивалентного расстояния, при этом подбирают значение корректирующего коэффициента K_U , при котором $a=0$, а эквивалентное расстояние h_3 оптимально, выполняют N измерений напряжения чувствительных элементов, вычисляют скорректированное значение напряжения второго чувствительного элемента U'_{2i} по формуле:

$$U'_{2i} = U_{2i} \cdot K_U,$$

где U_{2i} - измеренное напряжение второго чувствительного элемента;

$i=1 \dots N$ - порядковый номер измерения;

K_U - корректирующий коэффициент, вычисляют i -ые приращения перемещения ΔS_i по формуле:

$$\Delta S_i = \left(\frac{U_{1i} - U_{1(i-1)}}{U'_{2(i-1)} - U_{1(i-1)}} + \frac{U'_{2i} - U'_{2(i-1)}}{U'_{2i} - U_{1i}} \right) \cdot \frac{h_3}{2}$$

где $i=1 \dots N$ - порядковый номер измерения напряжения;

U_{1i} и $U_{1(i-1)}$ - значения напряжений первого чувствительного элемента при i -ом и $(i-1)$ -ом измерении;

U'_{2i} и $U'_{2(i-1)}$ - скорректированные значения напряжений второго чувствительного

элемента при i -ом и $(i-1)$ -ом измерении;

h_3 - эквивалентное расстояние, а полное перемещение S объекта контроля относительно измерительного устройства определяют по формуле:

5
$$S = \sum_{i=1}^N \Delta S_i$$

где $i=1 \dots N$ - порядковый номер измерения напряжения;

ΔS_i - приращение перемещения.

10

15

20

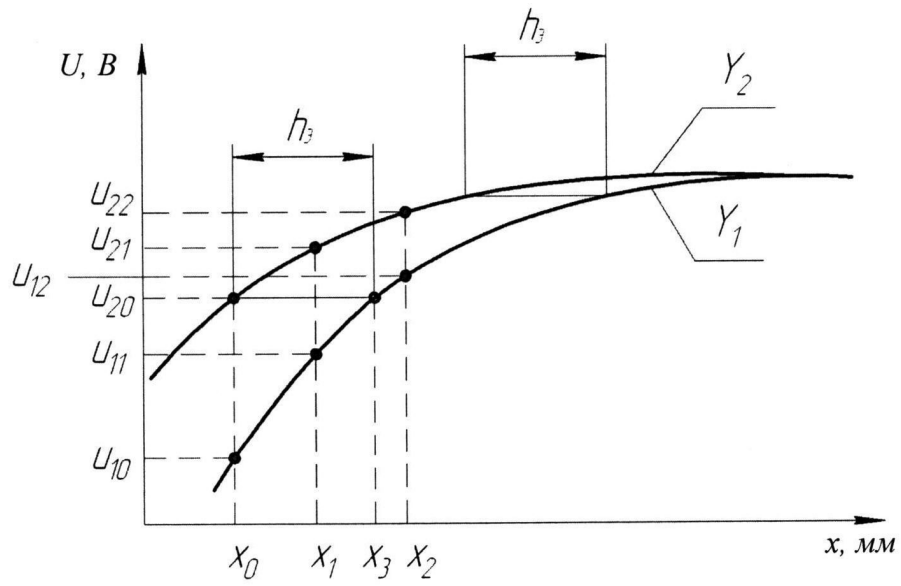
25

30

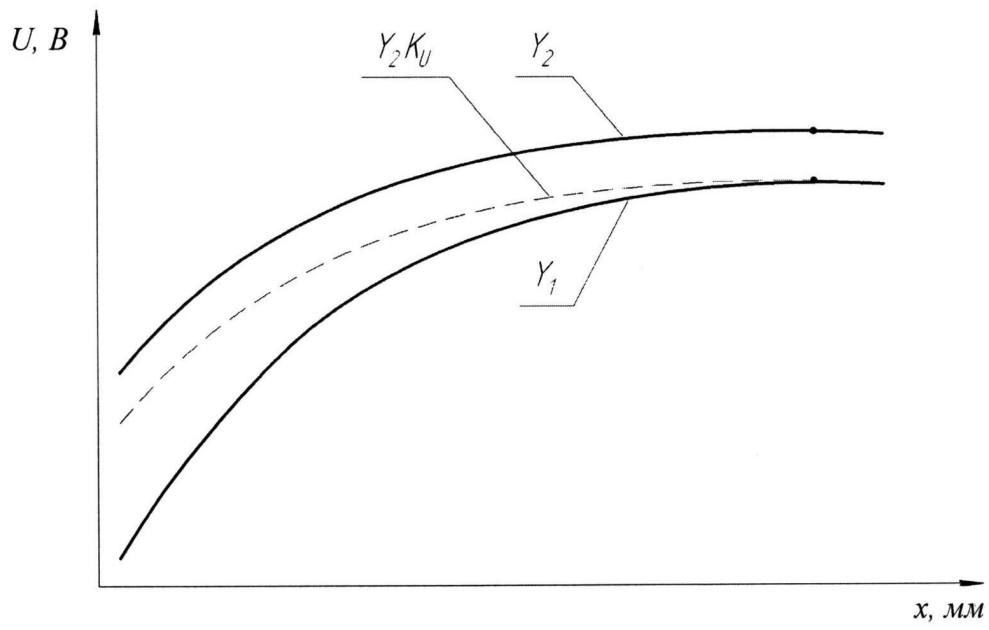
35

40

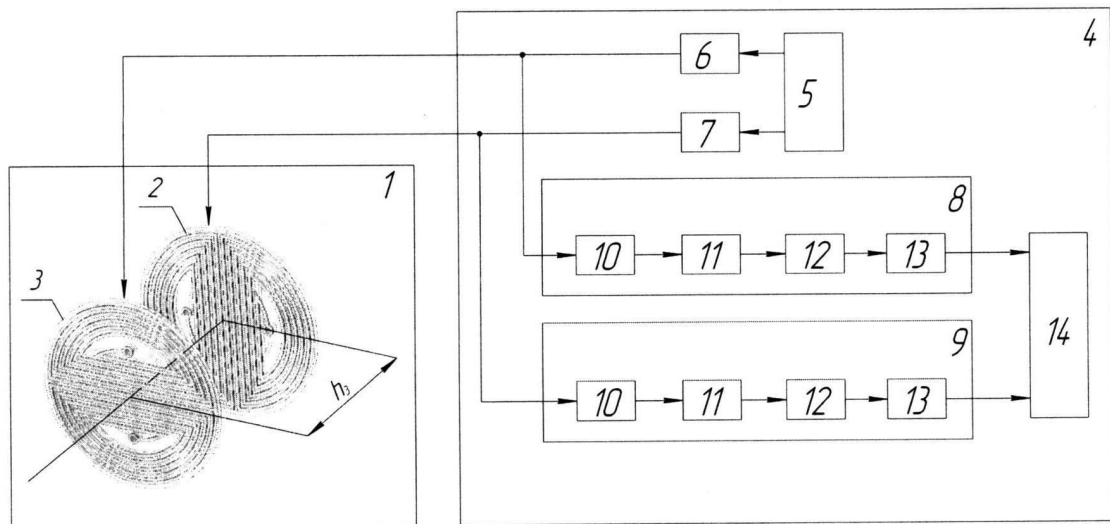
45



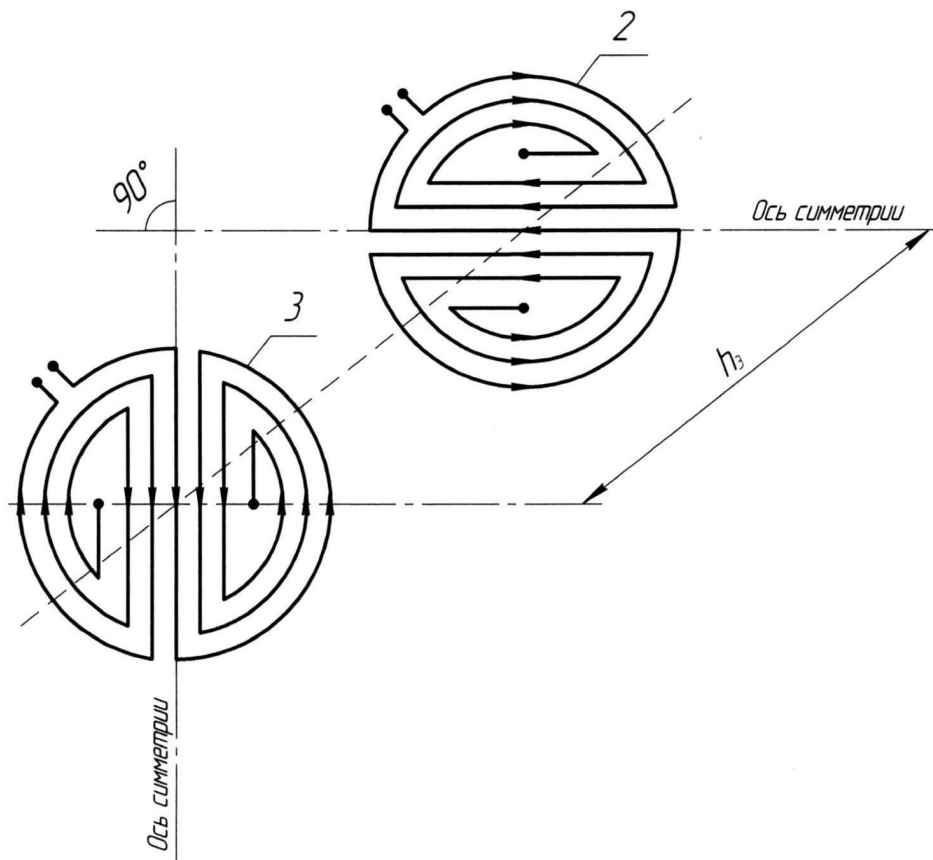
Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5