



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 189 585** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) МПК⁷ **G 01 N 27/90**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000116651/28, 28.06.2000

(24) Дата начала действия патента: 28.06.2000

(43) Дата публикации заявки: 27.04.2002

(46) Дата публикации: 20.09.2002

(56) Ссылки: SU 1663524 A, 15.07.1991. SU 1497558 A, 30.07.1989. SU 1610420 A, 30.11.1990. RU 2073234 A, 10.02.1997. US 4593245 A, 03.06.1986. US 5068608 A, 26.11.1991.

(98) Адрес для переписки:
141005, Московская обл., г.Мытищи-5, МГУЛ,
патентный отдел

(71) Заявитель:
Московский государственный университет леса

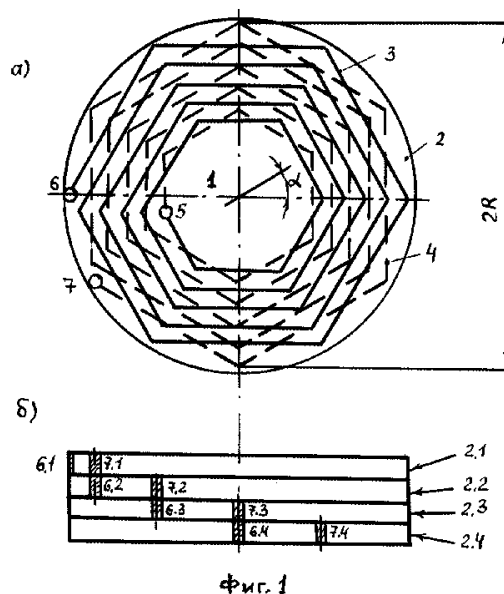
(72) Изобретатель: Давыдов В.Ф.,
Машков А.С., Филиппов А.Н., Дунаевский В.П.

(73) Патентообладатель:
Московский государственный университет леса

(54) ВИХРЕТОКОВЫЙ ДАТЧИК

(57)

Область использования: измерительная техника, для контроля вибрации движущихся частей роторных машин в энергетике, турбонасосных агрегатах, нефтегазовой промышленности и других областях. В предложенном вихретоковом датчике обмотка выполнена в виде правильного многоугольника. Чем больше число сторон многоугольника, тем больше его площадь приближается к площади круга, тем больше индуктивность. Вихретоковый датчик содержит несколько спиральных обмоток, сдвинутых относительно друг друга на угол, при котором стороны многоугольных спиралей не параллельны друг другу. Спиральные обмотки уложены на диэлектрических подложках, собранных в таблетку. При такой конструкции датчика (увеличении числа сторон и сдвиге сторон смежных обмоток относительно друг друга) улучшается добротность и чувствительность датчика. 4 ил.



RU 2 1 8 9 5 8 5 C 2

RU 2 1 8 9 5 8 5 C 2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 189 585** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl.⁷ **G 01 N 27/90**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

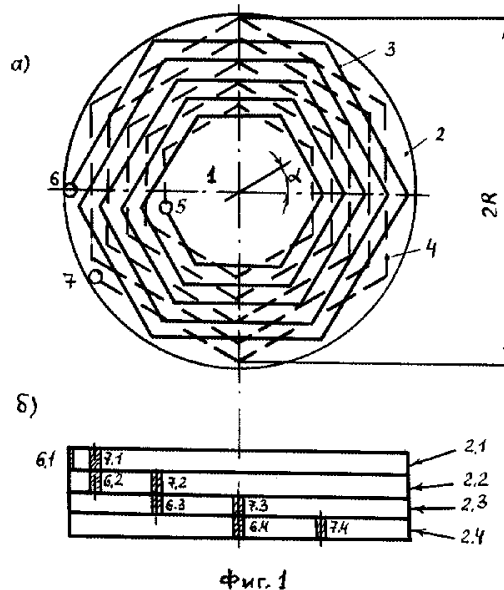
(21), (22) Application: 2000116651/28, 28.06.2000
 (24) Effective date for property rights: 28.06.2000
 (43) Application published: 27.04.2002
 (46) Date of publication: 20.09.2002
 (98) Mail address:
 141005, Moskovskaja obl., g.Mytishchi-5,
 MGUL, patentnyj otdel

(71) Applicant:
Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa
 (72) Inventor: Davydov V.F.,
 Mashkov A.S., Filippov A.N., Dunaevskij V.P.
 (73) Proprietor:
Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa

(54) **EDDY-CURRENT PICKUP**

(57) Abstract:

FIELD: measurement technology, test of vibration of moving parts of rotor machines in power engineering, of turbo-pump aggregates in oil and gas industry and in some other branches of industry. SUBSTANCE: winding of proposed eddy-current pickup comes in the form of regular polygon. The bigger is number of sides of polygon the nearer its area approaches to area of circle and the greater is inductance. Eddy-current pickup has several spiral windings displaced one relative another through angle at which sides of polygon spirals are not parallel one another. Spiral windings are placed on dielectric bases assembled in tablet. Such design of pickup (increased number of side and displacement of adjacent windings one with reference to another) improves factor-of-merit and sensitivity of pickup. EFFECT: improved factor-of-merit and sensitivity of pickup. 4 dwg



RU 2 189 585 C2

RU 2 189 585 C2

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для контроля вибрации движущихся частей роторных машин в энергетике, турбонасосных агрегатов в нефтегазовой промышленности и других областях.

Известен вихретоковый преобразователь для неразрушающего контроля, содержащий несколько слоев соосных, плоских спиральных обмоток на диэлектрических подложках, причем спираль витка каждой обмотки имеет конфигурацию спирали обмоток в соседних слоях (см., например, авт. св. СССР 1610420, кл. G 01 N 27/90, 1987 г. - аналог).

При традиционном исполнении вихретокового преобразователя несколько слоев соосных плоских спиральных обмоток на диэлектрических подложках образуют большую суммарную паразитную межвитковую емкость (C_{Π}).

Если форма спиралей во всех слоях одинакова, собственная паразитная емкость катушки индуктивности преобразователя (как плоского конденсатора) пропорциональна числу витков (n) и полной площади спирали S_0 , что является существенным недостатком аналога

$$C_{\Pi} = \frac{S_0}{d_0} \cdot n,$$

где S_0 - эквивалентная площадь спирали обмотки одной из сторон диэлектрической подложки,

d_0 - толщина диэлектрической подложки,

n - число спиральных обмоток.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству является выбранный в качестве ближайшего аналога вихретоковый преобразователь для неразрушающего контроля, содержащий несколько слоев плоских обмоток на плоских диэлектрических подложках, в котором обмотки всех слоев выполнены в виде прямоугольных спиралей с одинаковым постоянным шагом витков и сдвинуты относительно одна от другой по двум направлениям, совпадающим со сторонами витков на половину шага (см. авт. св. СССР 1497558, кл. G 01 N, 27/90, 1987 г. - ближайший аналог). Благодаря выполнению обмоток всех слоев в виде прямоугольных спиралей с одинаковым постоянным шагом витков и сдвигом их относительно одна от другой на половину шага, в этом устройстве удается увеличить расстояние d_0 между параллельными спиралями катушки, а следовательно, уменьшить собственную паразитную емкость преобразователя.

Недостатком ближайшего аналога является конструктивная ограниченность, не позволяющая достигнуть максимальной, потенциально возможной при заданных размерах, добротности датчика.

Задача, решаемая данным изобретением, заключается в повышении чувствительности датчика путем увеличения его добротности.

Поставленная задача решается тем, что в вихретоковом датчике, содержащем несколько слоев соосных плоских спиральных обмоток на диэлектрических подложках, собранных в таблетку, спирали витков каждой обмотки выполнены в виде симметричных многоугольников с m сторонами, а обмотки

повернуты относительно друг друга на угол

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2m},$$

при котором стороны многоугольных спиралей обмоток не параллельны друг другу.

На фиг.1а) представлена конфигурация спиралей обмоток в виде правильных концентрических многоугольников, сдвинутых относительно друг друга на угол

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2m}$$

и собранных в таблетку. На фиг.1б) представлено сечение по толщине таблетки и последовательность соединения спиралей обмоток в катушку индуктивности L . На фиг.2 приведена функциональная схема тракта измерений вибраций ротора с использованием вихретокового датчика.

Вихретоковый датчик 1 содержит n одинаковых диэлектрических подложек 2, на каждой из которых с двух сторон выполнены токопроводящие спиральные обмотки 3, 4, состоящие из нескольких витков в виде правильных концентрических многоугольников. Обмотки 3 и 4 соединены между собой последовательно и согласно через металлизированное контактное отверстие 5 и повернуты относительно друг друга на угол

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2m}.$$

Через контакты 6.1 и 7 $_n$, являющиеся выходными, датчик 1 включается в схему измерений фиг.2. Контакты 6.2...6 $_n$ соответствующих подложек 2.2...2 $_n$ электрически соединены пайкой с контактами 7 $_1$...7 $_{n-1}$ по схеме фиг.1б).

При измерениях вихретоковый датчик 1 запитывается от высокочастотного стабилизированного кварцевого генератора 8, нагруженного на делитель напряжения из сопротивления 9 (R_r) и эквивалентного сопротивления датчика 10 (R_d). Сигнал с эквивалентного сопротивления датчика 10 подается на вход последовательно подключенных усилителя 11, детектора 12, фильтра низких частот 13, регистратора 14. Датчик 1 устанавливается на неподвижной части агрегата 15 с зазором (h) 16 между неподвижной частью и ротором 17.

Устройство функционирует следующим образом. При вращении ротора 17, из-за асимметрии выполнения ротора и неточностей центрирования в подшипниках, изменяется величина зазора (h) 16 между ротором и датчиком. В результате, непрерывно изменяется величина вносимого сопротивления в контур из L , C_{Π} , R_d , что приводит к изменению величины эквивалентного сопротивления датчика (R_d) 10 и параметрической модуляции высокочастотного сигнала генератора 8.

В промодулированных таким образом колебаниях высокочастотного генератора 8 содержится вся информация о величине зазора (h) 16, амплитуде и частоте вибраций ротора 17. После усиления в усилителе 10, промодулированные колебания детектируются детектором 12. Фильтр низких частот 13 выделяет модулирующую функцию, содержащую информацию о параметрах вибрации ротора, которая записывается регистратором 14.

Техническая сущность изобретения заключается в следующем. Входное сопротивление датчика (Z_{BX}) как параллельного контура, в зависимости от параметра расстройки ξ , задается выражением

$$Z_{BX} = \frac{R_3}{\sqrt{1 + \xi^2}}$$

где R_3 - эквивалентное сопротивление датчика при резонансе,

$$R_3 = Q \cdot \rho,$$

Q - добротность датчика как колебательного контура;

ρ - характеристическое сопротивление датчика,

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C_n}}$$

L - индуктивность катушки датчика,

C_n - паразитная емкость катушки,

ξ - обобщенная расстройка,

$$\xi = z Q \frac{\Delta f}{f_0}$$

f_0 - резонансная частота,

Δf - отклонение частоты от резонансной (параметр расстройки).

Как следует из приведенной формулы, крутизна характеристики чувствительности датчика определяется в первую очередь его эквивалентным сопротивлением $R_3 = Q \cdot \rho$, т.е. добротностью и характеристическим сопротивлением. При заданных конструктивных размерах (габаритах) датчика, чем больше индуктивность катушки (L) и меньше паразитная емкость (C_n), тем больше добротность и характеристическое сопротивление. В свою очередь, индуктивность (L) катушки является функцией охватываемого витками объема пространства (V):

$$L = \mu_0 \mu \cdot n^2 \cdot S \cdot H,$$

где μ_0 - магнитная проницаемость воздуха,

μ - магнитная проницаемость сердечника,

n - число витков катушки, S - площадь сечения катушки, H - высота катушки (толщина таблетки).

Если обмотка круглая, то $S = 2 \pi R^2$, R - габариты датчика (фиг.1). Если обмотка выполнена в виде правильного многоугольника, то $S = l/2 \cdot m \cdot R^2 \cdot \sin \alpha$, где m - число сторон правильного многоугольника, α - центральный угол, равный $\alpha = 360^\circ/m$, R - радиус описанной окружности (габариты датчика). Чем больше число сторон правильного многоугольника, тем больше его площадь (S) приближается к площади круга, тем больше индуктивность L и тем больше характеристическое сопротивление ρ . С другой стороны, если обмотки сдвинуты относительно друг друга, то взаимные проекции l витков одноименных сторон и паразитная емкость C_n также оказываются функциями числа сторон правильного многоугольника. Изменение площади S многоугольника при $m \rightarrow \infty$ и проекции l соответствующих сторон обмоток имеют различную функциональную зависимость.

Следовательно, при изменении

конструкции датчика (увеличении числа сторон и сдвиге сторон смежных обмоток относительно друг друга) должен существовать экстремум, при котором добротность и характеристическое сопротивление датчика максимальны.

На фиг.3 представлены графики изменения составляющих

$$\left(1/z \frac{\Delta L}{L}\right) \text{ и } \left(1/z \frac{\Delta C}{C_n}\right),$$

определяющих результирующую эффективность датчика $\Delta \rho / \rho$ в функции от числа сторон (m) и угле сдвига $\alpha = 360^\circ/2m$, относительно ближайшего аналога ($m=4$). Эффективность датчика можно оценить (см. , например, Н.С. Пискунов "Дифференциальное и интегральное исчисления". Учебник для ВТУЗов, Т.1, Наука, М. , 1964 г., с. 249-252), вычислив величину относительного изменения функции:

$$\text{если } \rho = \sqrt{\frac{L}{C_n}},$$

$$\text{то } \frac{\Delta \rho}{\rho} = 1/2 \frac{\Delta L}{L} - 1/2 \frac{\Delta C}{C_n};$$

Из геометрических соотношений получено, что

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta S}{S} = \frac{m \cdot 360^\circ}{4 \cdot m} - 1;$$

$$\frac{\Delta C}{C_n} = \frac{\Delta l}{l} = \left(\cos \frac{180^\circ}{m} - 1\right).$$

Характеристическое сопротивление датчика максимально при $m = 6...7$, и увеличивается примерно на 10% относительно ближайшего аналога. Поскольку эквивалентное сопротивление датчика

$$R_3 = \frac{\rho^2}{r_a},$$

то результирующий выигрыш в чувствительности составит $(1,1 \cdot 1,1) = 1,21$, т.е. 21%.

На фиг. 4 представлены нормированные выходные характеристики датчиков (функции чувствительности), соответственно: 1 - ближайшего аналога, 2 - заявляемого датчика. Одним из основных требований к вихретоковым датчикам является обеспечение линейности выходной характеристики (v/v_0) в широком диапазоне изменения величины зазора (h) между ротором и неподвижной частью агрегатов. Крутизна характеристики заявляемого датчика на $\approx 21\%$ больше, при одновременном увеличении линейного участка по сравнению с ближайшим аналогом.

Спиральные обмотки 3, 4 на подложках 2 изготавливаются из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 0,2 мм методом травления заготовок, например, в растворе хлорного железа. Предполагаемая форма спиралей при этом наносится фотошаблонным способом, что не накладывает ограничений на их конфигурацию.

Все элементы измерительного тракта собраны по типовым электронным схемам (см. , например, "Справочник по радиоэлектронике" под редакцией А.А.

Куликовского, Энергия, М., 1968 г., т.2, с. 43, 85, 133) и могут быть выполнены на существующей технической базе.

Формула изобретения:

Вихретоковый датчик, содержащий несколько слоев соосных плоских спиральных обмоток на диэлектрических подложках, собранных в таблетку, отличающийся тем, что

спирали витков каждой обмотки выполнены в виде симметричных многоугольников с m сторонами, а обмотки повернуты относительно друг друга на угол

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2m},$$

при котором стороны многоугольных спиралей обмоток не параллельны друг другу.

10

15

20

25

30

35

40

45

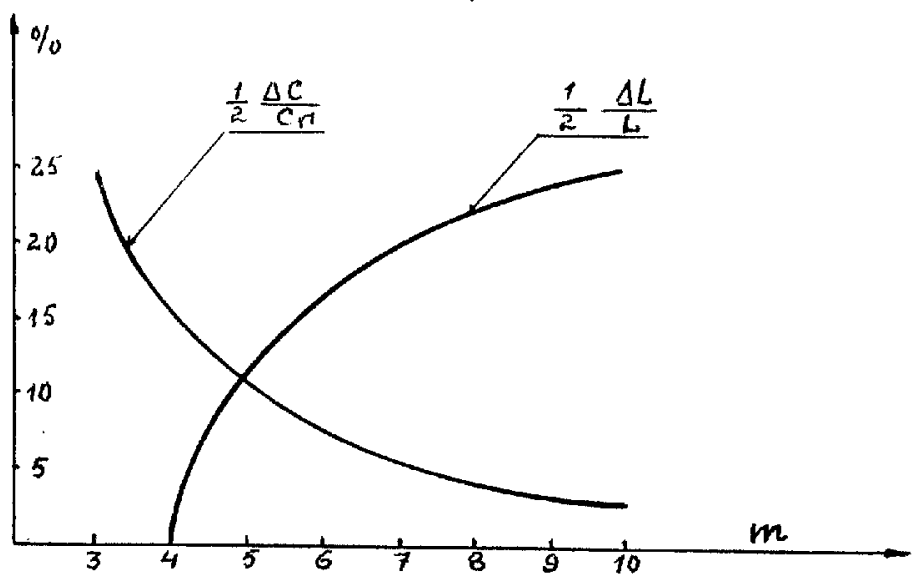
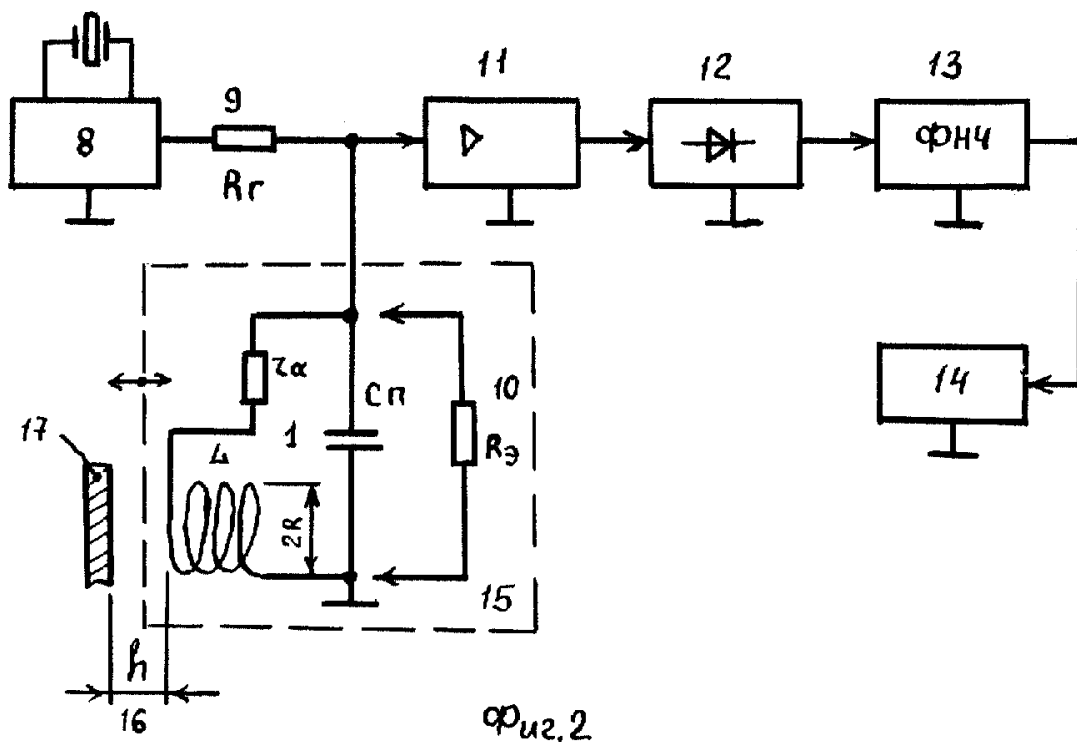
50

55

60

RU 2189585 C2

RU 2189585 C2

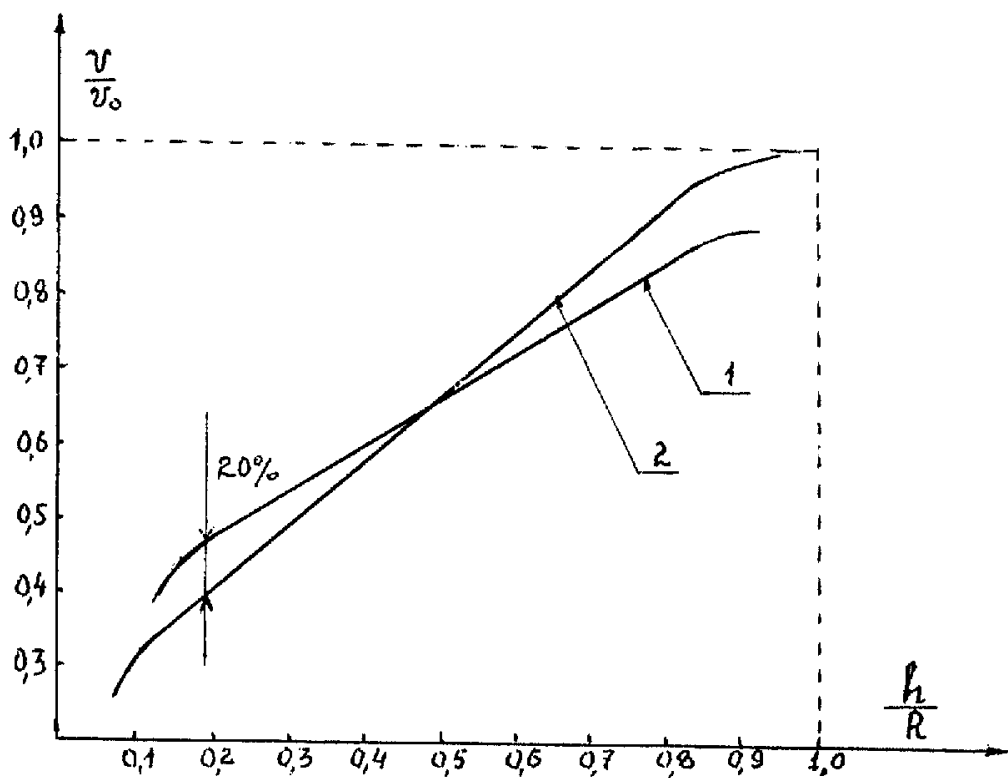


Фиг. 3

RU 2189585 C2

RU 2189585 C2

RU 2189585 C2



Фиг. 4

RU 2189585 C2