



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015153749, 16.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.12.2015Дата регистрации:  
07.07.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.12.2015

(43) Дата публикации заявки: 21.06.2017 Бюл. № 18

(45) Опубликовано: 07.07.2017 Бюл. № 19

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для МФ МГТУ

(72) Автор(ы):

Батырев Юрий Павлович (RU),  
Филиппов Анатолий Николаевич (RU),  
Дунаевский Виктор Павлович (RU),  
Багдатьяев Вадим Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU),  
Акционерное общество  
"Научно-производственное объединение  
Измерительной техники" (АО "НПО ИТ")  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2163350 C2, 20.02.2001. RU  
2196960 C2, 20.01.2003. RU 2082076 C1,  
20.06.1997. RU 2281490 C1, 10.08.2006. EP  
2466253 A1, 20.06.2012. US 5854553 A1,  
29.12.1998.

(54) Измеритель линейных перемещений

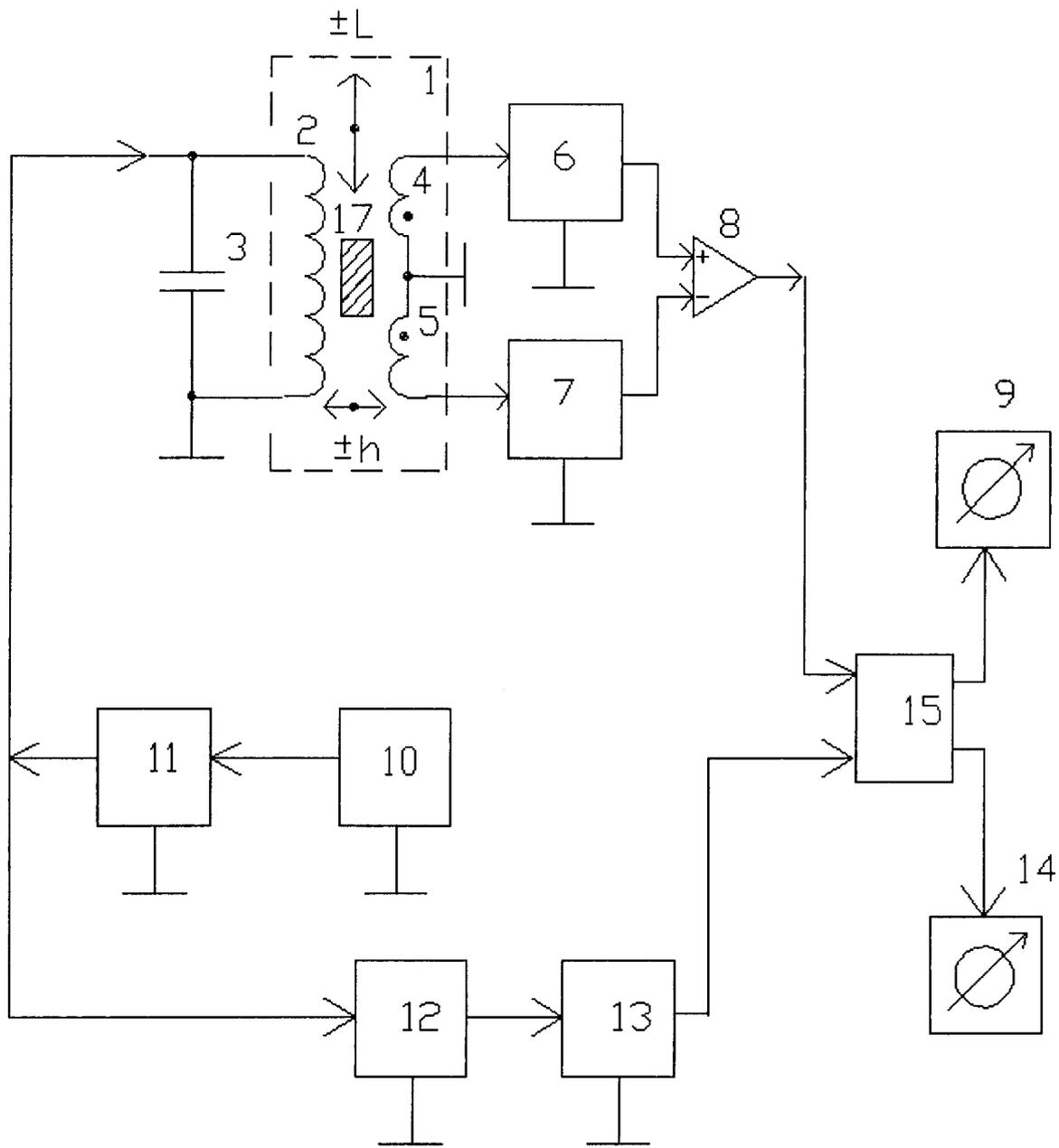
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для контроля положения движущихся металлических частей роторных машин в энергетике, турбонасосных агрегатов в нефтегазовой промышленности и других областях. Измеритель линейных перемещений содержит дифференциальный вихретоковый преобразователь, параллельно обмотке возбуждения которого подключен конденсатор, образующий с обмоткой возбуждения параллельный резонансный LC-контур, а также индикатор и генератор. Измерительные обмотки дифференциального

вихретокового преобразователя подключены через первый и второй выпрямители соответственно к инвертирующему и неинвертирующему входам дифференциального усилителя. Дополнительно введены источник тока, амплитудный детектор, масштабный усилитель, второй индикатор, блок сравнения и вычисления. Технический результат: повышение точности измерения перемещения и расширение функциональных возможностей за счет одновременного измерения продольного и поперечного перемещений контролируемого объекта. 2 ил.

RU 2 624 844 C 2

C 2  
4 4 8 4 4  
2 6 2 4 8 4 4  
R U



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2015153749, 16.12.2015**(24) Effective date for property rights:  
**16.12.2015**Registration date:  
**07.07.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **16.12.2015**(43) Application published: **21.06.2017** Bull. № 18(45) Date of publication: **07.07.2017** Bull. № 19

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,  
MGU im. N.E. Baumana, TSZIS, dlya MF MGU**

(72) Inventor(s):

**Batyrev Yuriy Pavlovich (RU),  
Filippov Anatolij Nikolaevich (RU),  
Dunaevskij Viktor Pavlovich (RU),  
Bagdatev Vadim Evgenevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj  
tehnicheskij universitet imeni N.E. Baumana  
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet"  
(MGU im. N.E. Baumana) (RU),  
Aksionernoe obshchestvo  
"Nauchno-proizvodstvennoe obedinenie  
Izmeritelnoj tekhniki" (AO "NPO IT") (RU)**(54) **LINEAR DISPLACEMENT METER**

(57) Abstract:

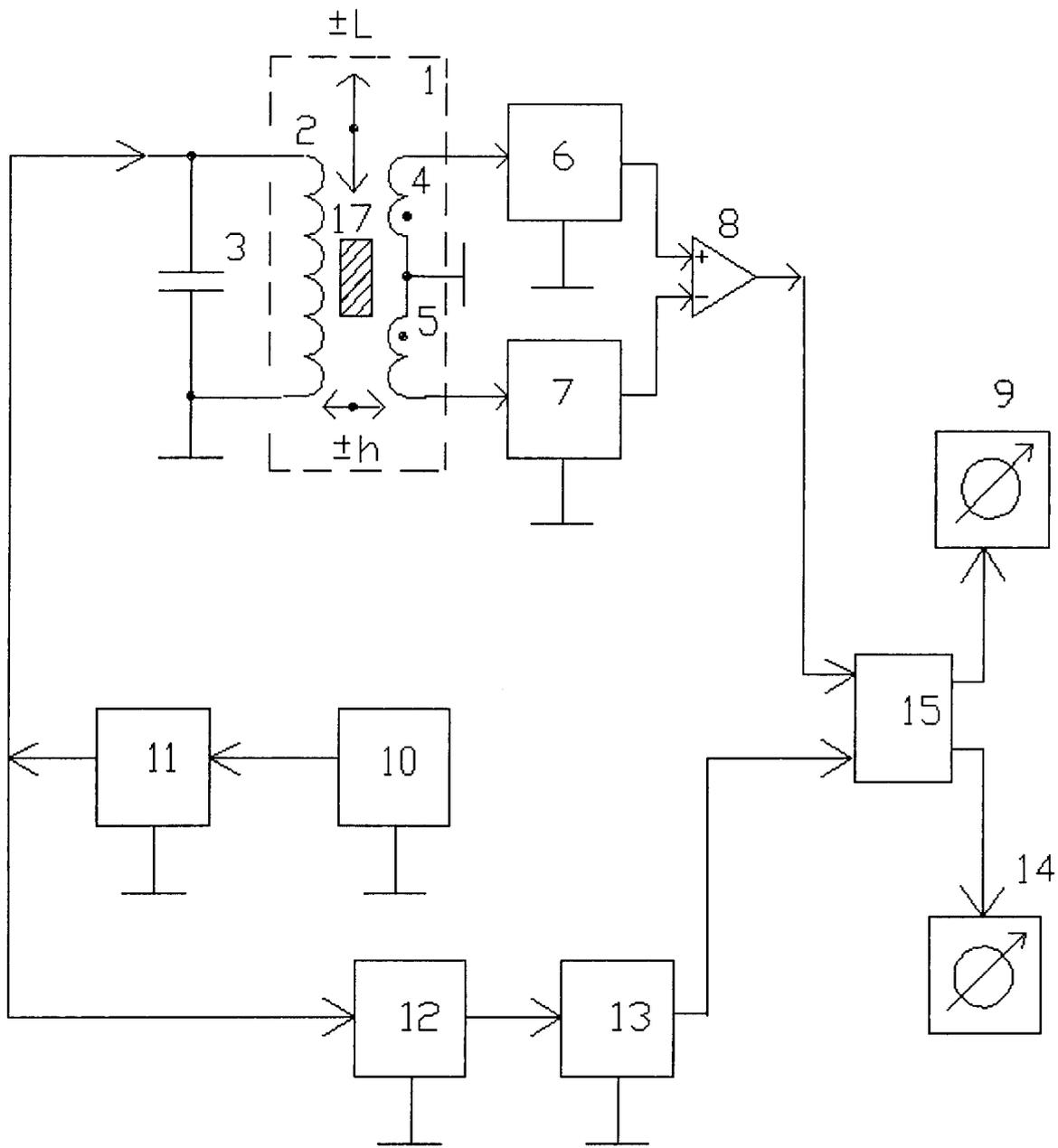
FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: linear displacement meter contains a differential eddy current transducer, in parallel with the excitation winding of which a capacitor is connected, forming a parallel resonant LC circuit with the excitation winding, as well as an indicator and a generator. The measuring windings of the differential eddy current transducer are connected through the first and the second rectifiers respectively to the inverting and non-inverting inputs of the differential amplifier.

In addition, a current source, an amplitude detector, a scale amplifier, the second indicator, a comparing unit, and a calculating unit are input.

EFFECT: increasing the accuracy of the displacement measurement and expanding the functionality by simultaneous measuring the longitudinal and transverse movements of the monitored object.

2 dwg



Фиг. 1

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

Известен вихретоковый измеритель перемещений, содержащий вихретоковый датчик, генератор переменного напряжения, к выходу которого через токоограничивающий резистор подключен колебательный контур, в качестве индуктивности которого используется вихретоковый датчик, последовательно соединенные детектор, подключенный к колебательному контуру, и индикатор (см. а.с. СССР №1504492, G01B 7/06, 1988 г. - аналог). Рабочая частота генератора настроена на резонансную частоту колебательного контура, образованного параллельным включением катушки индуктивности вихретокового датчика и входного конденсатора. Приближение металлического объекта к обмотке вихретокового датчика приводит к «расстройке» и увеличению потерь в колебательном контуре и, как следствие, уменьшению переменного напряжения на нем, что и регистрируется индикатором.

Этот однообмоточный измеритель имеет нелинейную характеристику измерения, за счет нелинейно меняющейся от расстояния электромагнитной связи колебательного контура с контролируемым объектом. Кроме того, этот измеритель «не чувствует» перемещения металлического объекта вдоль своей поверхности, когда расстояние (зазор) между ними не меняется.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому техническому решению является измеритель перемещений, содержащий дифференциальный индуктивный датчик, измерительные обмотки которого подключены через первый и второй амплитудные детекторы к соответствующим входам дифференциального усилителя, выход которого соединен с индикатором. Обмотка возбуждения датчика подключена к выходу генератора возбуждения (см. патент РФ №2196960, G01B 7/00 от 20.01.2003 г).

Дифференциальный индуктивный датчик состоит из прямоугольного корпуса, выполненного из немагнитного металла. С открытой стороны корпуса датчика помещены прямоугольная обмотка возбуждения и две прямоугольные, одинаково выполненные измерительные обмотки, включенные навстречу друг другу. Они расположены симметрично по краям обмотки возбуждения в параллельных плоскостях с ней. Ширина измерительных обмоток примерно равна ширине обмотки возбуждения, а их длина не превышает половины ее длины. Металлический контролируемый объект установлен с возможностью перемещения вдоль открытой части датчика и на некотором расстоянии относительно него.

Металлический объект, перемещаясь параллельно плоскости обмотки возбуждения, «возмущает» электромагнитное поле в пределах, охватываемых витками обмотки возбуждения, что приводит к разбалансу электрических сигналов, вырабатываемых измерительными обмотками. Величина разностного сигнала, вырабатываемого встречно включенными измерительными обмотками тем больше, чем больше смещение контролируемого объекта, от середины датчика к его краям. Максимальное перемещение объекта, контролируемое датчиком, определяется разностью между длиной обмотки возбуждения и шириной контролируемого объекта.

После детектирования амплитудными детекторами и усиления дифференциальным усилителем, разностный сигнал регистрируется индикатором.

Данный измеритель линейных перемещений по сравнению с предыдущим устройством имеет больший диапазон измерения и более высокую линейность между перемещением и выходным сигналом датчика за счет перемещения контролируемого объекта вдоль

плоскости датчика и за счет дифференциального включения его измерительных обмоток. Однако при изменении (увеличении) расстояния (зазора) между датчиком и контролируемым объектом происходит изменение (ослабление) электромагнитной связи между катушкой возбуждения датчика и объектом, что приводит к изменению (уменьшению) чувствительности датчика и возникновению погрешности измерения линейного перемещения контролируемого объекта, которое не контролируется данным измерителем.

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является расширение функциональных возможностей измерителя за счет измерения зазора между контролируемым объектом и датчиком и учета этого параметра, благодаря чему повышается точность измерения линейного перемещения объекта и появляется возможность оперативного контроля зазора между датчиком и контролируемым объектом.

Поставленная задача решается за счет того, что в измеритель линейных перемещений, содержащий дифференциальный вихретоковый преобразователь, параллельно обмотке возбуждения которого подключен конденсатор, образующий с обмоткой возбуждения параллельный резонансный LC-контур, измерительные обмотки дифференциального вихретокового преобразователя подключены через первый и второй выпрямители соответственно к инвертирующему и неинвертирующему входам дифференциального усилителя, индикатор и генератор, введены источник тока, амплитудный детектор, масштабный усилитель, второй индикатор и блок сравнения и вычисления, первый вход которого подключен к выходу масштабного усилителя, а второй вход блока сравнения и вычисления подключен к выходу дифференциального усилителя, первый выход блока сравнения и вычисления подключен к первому индикатору, а второй выход - к второму индикатору, вход источника тока подключен к выходу генератора, а выход - к параллельно соединенным обмотке возбуждения вихретокового преобразователя и конденсатору и к входу амплитудного детектора, выход которого подключен к входу масштабного усилителя.

Функциональная схема предлагаемого устройства приведена на фиг. 1. На фиг. 2а и фиг. 2б показана конструкция вихретокового преобразователя 1.

Измеритель линейных перемещений (фиг. 1) содержит дифференциальный вихретоковый преобразователь 1, параллельно обмотке возбуждения 2 которого подключен конденсатор 3, образующий с ней параллельный резонансный LC-контур; измерительные обмотки 4, 5 дифференциального вихретокового преобразователя 1 подключены соответственно к первому 6 и второму 7 выпрямителям, выходы которых соединены с инвертирующим и неинвертирующим входами дифференциального усилителя 8, индикатор 9 и генератор 10.

Измеритель линейных перемещений содержит также источник тока 11, амплитудный детектор 12, масштабный усилитель 13, второй индикатор 14 и блок сравнения и вычисления 15, один вход которого подключен к выходу масштабного усилителя 13, а другой вход блока сравнения и вычисления 15 подключен к выходу дифференциального усилителя 8. Один выход блока сравнения и вычисления 15 подключен к первому индикатору 9, а второй выход блока сравнения и вычисления 15 подключен к второму индикатору 14. Вход источника тока 11 подключен к выходу генератора 10, а выход - к параллельному контуру, образованному обмоткой возбуждения 2 вихретокового преобразователя 1 и конденсатором 3, и к входу амплитудного детектора 12, выход которого подключен к входу масштабного усилителя 13.

Дифференциальный вихретоковый преобразователь 1 (фиг. 2) содержит

прямоугольный металлический корпус 16. С открытой стороны корпуса 16 расположены прямоугольная обмотка возбуждения 2 и две прямоугольные, одинаково выполненные измерительные обмотки 4, 5, включенные навстречу друг другу. Они расположены симметрично по краям обмотки возбуждения 2 в параллельных плоскостях с ней.

5 Ширина измерительных обмоток 4, 5 не превышает ширины обмотки возбуждения 2, а их длина не превышает половины ее длины. Обмотки 2, 4 и 5 могут быть выполнены, например, печатным способом из нескольких слоев спиральных намоток на диэлектрических подложках, собранных в слоеную таблетку. Причем, если слои намоток обмотки возбуждения будут чередоваться со слоями намоток измерительных обмоток, как это показано в прототипе, то это обеспечит, с одной стороны, максимальное

10 потокосцепление измерительных обмоток 4, 5 с обмоткой возбуждения 2, с другой стороны, одинаковость зазора  $h$  между контролируемым объектом 17 и обмотками 2, 4 и 5 вихретокового преобразователя 1 (на фиг. 2 эта конструкция не показана). Такая конструкция позволяет улучшить его метрологические характеристики.

15 Металлический контролируемый объект 17, которым является измерительное кольцо ротора электрической машины, установлен с возможностью перемещения вдоль открытой части корпуса 16 вихретокового преобразователя 1 и на некотором расстоянии  $h \approx 1-3$  мм относительно него. Ширина контролируемого объекта 17 (измерительного кольца ротора) обычно равна 20-40 мм.

20 При настройке измерителя снимается совокупность характеристик, показывающих зависимости напряжений на входах блока сравнения и вычисления 15 от продольного перемещения  $\pm L$  при различных зазорах  $h$  между контролируемым объектом 17 и вихретоковым преобразователем 1, и они записываются в память блока сравнения и вычисления 15, чтобы при измерениях на агрегате внести необходимые поправки и

25 существенно повысить точность измерения перемещения  $\pm L$  на индикаторе 9 и зазора  $h$  индикатором 14.

Устройство работает следующим образом. Генератор 10 вырабатывает высокочастотное синусоидальное напряжение на резонансной частоте контура, образованного параллельным соединением обмотки возбуждения 2 и конденсатором

30 3, которое подается на него через источник тока 11. Амплитуда тока  $I_{11}$  источника тока 11 установлена равной  $I_{11} \approx U_{\Gamma} / 2 Z_{kmax}$ , где  $U_{\Gamma}$  - амплитуда высокочастотного напряжения, вырабатываемого генератором 10,  $Z_{kmax}$  - полное сопротивление колебательного контура при зазоре  $h = h_{max}$ , где  $h_{max}$  - максимально возможный зазор, возникающий

35 между вихретоковым преобразователем 1 и контролируемым объектом 17 в процессе работы агрегата.

Если при перемещении контролируемого объекта 17 вдоль вихретокового преобразователя 1 зазор  $h$  между ними не меняется, то не меняется электромагнитная связь между обмоткой возбуждения 2 и объектом 17, а следовательно, и потери, вносимые контролируемым объектом 17 в обмотку возбуждения 2, остаются

40 постоянными. Высокочастотное напряжение, поступающее с обмотки возбуждения 2 на амплитудный детектор 12, остается постоянным, поэтому, после детектирования и усиления масштабным усилителем 13, сигнал на втором входе блока сравнения и вычисления 15 и на втором индикаторе 14 остается постоянным и в исходном положении

45 соответствует величине зазора  $h \approx h_{max} / 2$ .

В то же время металлический объект 17, перемещаясь параллельно плоскости обмотки возбуждения 2, «возмущает» электромагнитное поле, принимаемое измерительными обмотками 4 и 5, что приводит к рассогласованию напряжений  $U_4$ ,  $U_5$ , вырабатываемых

измерительными обмотками 4, 5, а следовательно, и на выходах выпрямителей 6 и 7. В результате на выходе дифференциального усилителя 8 вырабатывается разностное напряжение  $U_8$ . Величина этого разностного напряжения тем больше, чем больше смещение  $L$  контролируемого объекта 17 от середины обмотки возбуждения 2 к ее

5 краям. Максимальное перемещение  $\pm L_{\max}$  объекта 17, контролируемое вихретоковым преобразователем 1, определяется разностью между длиной обмотки возбуждения 2 и шириной контролируемого объекта 17.

Разностное напряжение  $U_8$  поступает на первый вход блока сравнения и вычисления

10 15. В исходном состоянии вихретоковый измеритель перемещений устанавливается симметрично относительно контролируемого объекта 17, что обеспечивает нулевую разность напряжений  $U_8=0$ , а следовательно, и показаний индикатора перемещения 9.

При увеличении зазора  $h$  электромагнитная связь между обмоткой возбуждения 2 и объектом 17 уменьшается, что приводит к увеличению полного сопротивления  $Z_k$

15 колебательного контура и, следовательно, к увеличению падения высокочастотного напряжения на обмотке возбуждения 2. Это приводит, с одной стороны, к увеличению напряжений  $U_4$  и  $U_5$  на измерительных обмотках 4, 5, а следовательно, и их разности  $\Delta U_{45}$  и на первом входе блока сравнения и вычисления 15, который корректирует и

20 сохраняет неизменными показания индикатора перемещения 9, с другой стороны, к увеличению сигнала на выходе амплитудного детектора 12, а следовательно, и на втором входе блока сравнения и вычисления 15, и соответствующему увеличению показаний индикатора зазора 14.

Введение и соответствующее подключение новых элементов в измеритель перемещений обеспечивает расширение его функциональных возможностей за счет

25 одновременного измерения продольного  $L$  и поперечного  $h$  перемещений контролируемого объекта.

Кроме того, сняв, при настройке измерителя, совокупность характеристик, показывающих зависимости напряжений на входах блока сравнения и вычисления 15 от продольного перемещения  $\pm L$  при различных зазорах  $h$  между контролируемым

30 объектом 17 и вихретоковым преобразователем 1, и записав их в память блока сравнения и вычисления 15, можно существенно повысить точность измерения перемещения  $\pm L$  на индикаторе 9 за счет учета и одновременного измерения зазора  $h$  индикатором 14.

#### (57) Формула изобретения

35 Измеритель линейных перемещений, содержащий дифференциальный вихретоковый преобразователь, параллельно обмотке возбуждения которого подключен конденсатор, образующий с обмоткой возбуждения параллельный резонансный LC-контур, измерительные обмотки дифференциального вихретокового преобразователя

40 подключены через первый и второй выпрямители соответственно к инвертирующему и неинвертирующему входам дифференциального усилителя, индикатор и генератор, отличающийся тем, что дополнительно введены источник тока, амплитудный детектор, масштабный усилитель, второй индикатор и блок сравнения и вычисления, первый вход которого подключен к выходу масштабного усилителя, а второй вход блока

45 сравнения и вычисления подключен к выходу дифференциального усилителя, первый выход блока сравнения и вычисления подключен к первому индикатору, а второй выход - к второму индикатору, вход источника тока подключен к выходу генератора, а выход - к параллельно соединенным обмотке возбуждения вихретокового преобразователя и конденсатору и к входу амплитудного детектора, выход которого подключен к входу

масштабного усилителя.

5

10

15

20

25

30

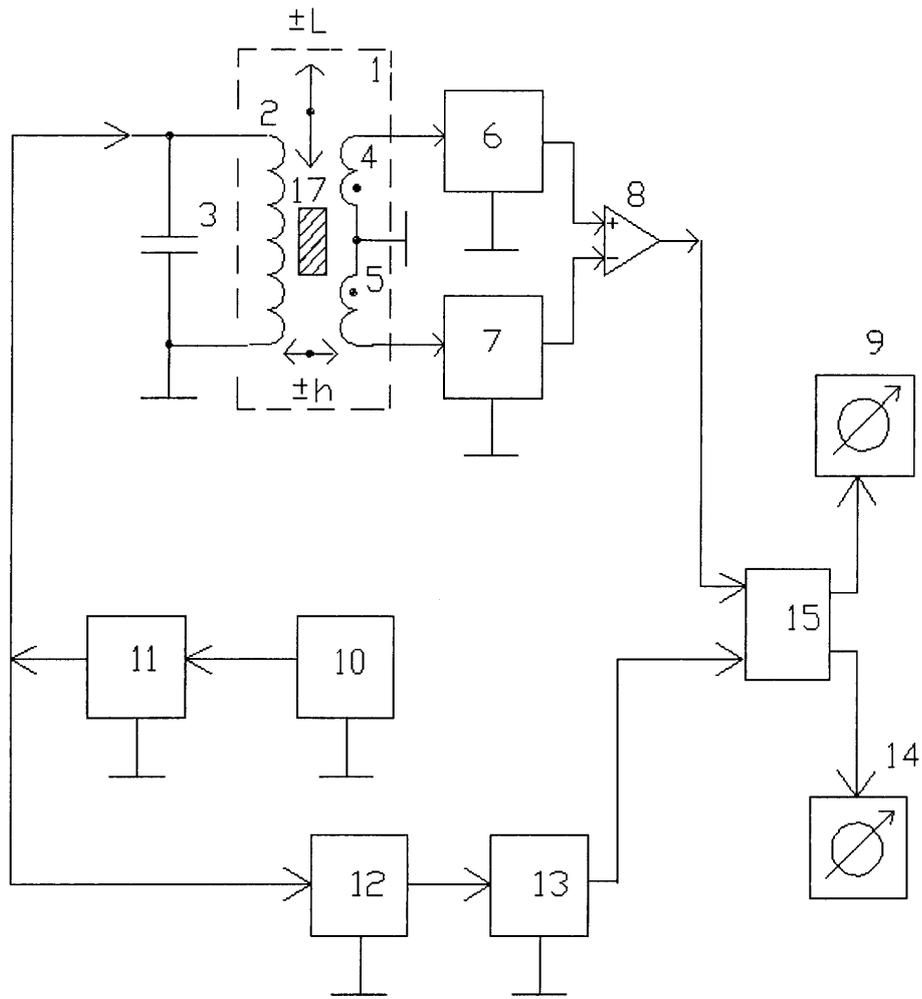
35

40

45

1

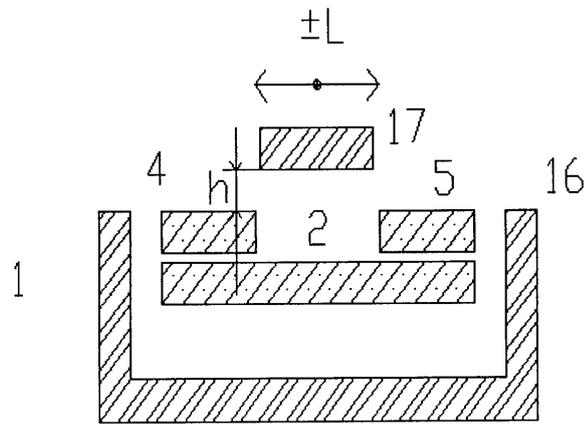
Измеритель линейных перемещений



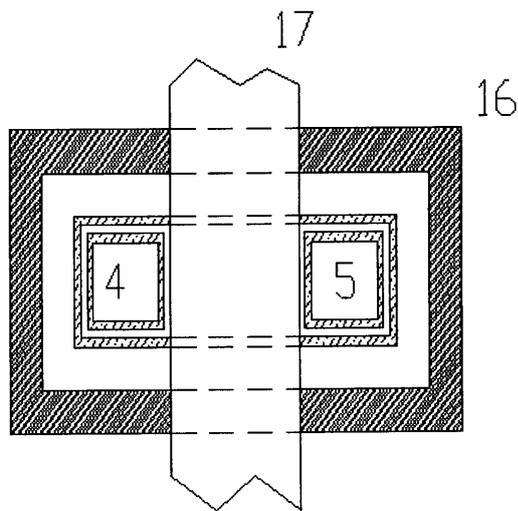
Фиг. 1

2

Измеритель линейных перемещений



a)



б)

Фиг. 2