



(19) RU<sup>(11)</sup> 2 215 985<sup>(13)</sup> C2  
(51) МПК7 G 01 B 7/14

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2001114179/09, 23.05.2001

(24) Дата начала действия патента: 23.05.2001

(43) Дата публикации заявки: 10.05.2003

(46) Дата публикации: 10.11.2003

(56) Ссылки: ЛЕБЕДИНСКИЙ В.В. и др.  
Измерительные схемы для широкодиапазонных индуктивных преобразователей. Реакторные материалы, - М.: Энергоатомиздат, 1983, с.58-62. RU 2036413 C1, 27.05.1995. RU 2121129 C1, 27.10.1998. SU 1506267 A1, 07.09.1989. SU 1518661 A1, 30.10.1989. GB 2248503 A, 08.04.1992. US 4626621 A, 02.12.1986. FR 2381285 A1, 05.12.1980. DE 3512529 A, 07.11.1985.

(98) Адрес для переписки:  
433510, Ульяновская обл., г.  
Димитровград-10, ГНЦ РФ НИИАР

(71) Заявитель:

Государственный научный центр Российской Федерации Научно-исследовательский институт атомных реакторов

(72) Изобретатель: Котов Н.П.,

Валиуллин Ф.Х., Сулаберидзе В.Ш.

(73) Патентообладатель:

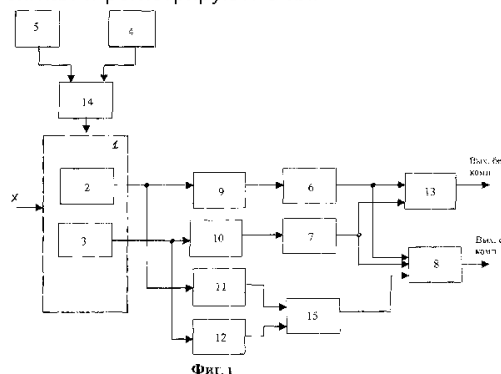
Государственный научный центр Российской Федерации Научно-исследовательский институт атомных реакторов

### (54) СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИНДУКТИВНОГО ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

(57)

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в технике и научных исследованиях в ядерной и тепловой энергетике для измерения электрических и неэлектрических величин, в средах с высокими изменяющимися и неравномерными температурными полями. Техническим результатом является повышение точности измерений. В способе компенсации температурной погрешности индуктивного первичного преобразователя суммируют напряжение переменного тока с напряжением постоянного тока, питают этой суммой напряжений индуктивный первичный преобразователь, отфильтровывают переменные напряжения, получаемые с индуктивного первичного преобразователя, выпрямляют преобразователями средневывпрямленного значения, фильтруют, суммируют, усиливают, считая этот сигнал рабочим, отфильтровывают напряжения

постоянного тока, получаемые с индуктивного первичного преобразователя, вычитают одно напряжение из другого, усиливают его, считая этот сигнал корректирующим, вычитают из рабочего сигнала корректирующий сигнал, умножают эту разность на корректирующий сигнал и регистрируют. 3 ил.





(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 215 985** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) Int. Cl.<sup>7</sup> **G 01 B 7/14**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2001114179/09, 23.05.2001  
(24) Effective date for property rights: 23.05.2001  
(43) Application published: 10.05.2003  
(46) Date of publication: 10.11.2003  
(98) Mail address:  
433510, Ul'janovskaja obl., g.  
Dimitrovgrad-10, GNTs RF NIIAR

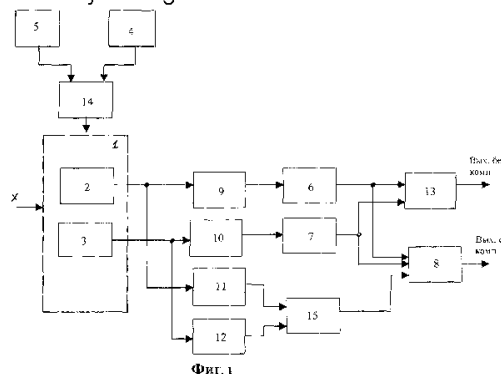
(71) Applicant:  
Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr Rossijskoj  
Federatsii Nauchno-issledovatel'skij  
institut atomnykh reaktorov  
(72) Inventor: Kotov N.P.,  
Valiullin F.Kh., Sulaberidze V.Sh.  
(73) Proprietor:  
Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr Rossijskoj  
Federatsii Nauchno-issledovatel'skij  
institut atomnykh reaktorov

(54) **METHOD OF COMPENSATION FOR TEMPERATURE ERROR OF INDUCTIVE PRIMARY CONVERTER**

(57) Abstract:

FIELD: measurement technology.  
SUBSTANCE: method can find use in technology and scientific research in the interests of nuclear and heat power industry for measurement of electric and nonelectric quantities in media with high-varying and nonuniform temperature fields. Method of compensation for temperature error of inductive primary converter sums up A C voltage and D C voltage, sum of voltages is used to feed inductive primary converter, alternating voltage output by inductive primary converter is filtered, is rectified by converters of rectified mean value, is filtered, summed up and amplified. Taking this signal as working D C voltage output by inductive primary converter is filtered, one voltage is subtracted from another, is amplified and considered as correcting

signal. This correcting signal is subtracted from working signal, this difference is multiplied by correcting signal and recorded. EFFECT: increased measurement accuracy. 3 dwg



Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в технике и научных исследованиях в ядерной и тепловой энергетике для измерения электрических и неэлектрических величин, в средах с высокими, изменяющимися и неравномерными температурными полями, с помощью индуктивных первичных преобразователей (ИПП).

Техническими результатами являются: улучшение метрологических характеристик индуктивных первичных преобразователей и расширение области применения этих преобразователей.

Важной технической характеристикой таких преобразователей являются составляющие погрешности измерений: уход нуля (аддитивная) и изменение чувствительности (мультипликативная). Основные источники этих погрешностей - высокие, резко изменяющиеся и неравномерные температуры среды, окружающие эти преобразователи. Величины этих погрешностей могут быть значительными при больших диапазонах изменения температуры среды.

Существует несколько способов, уменьшающих эти погрешности.

Так, известен способ (KARA A. Differential Transformer with Temperature and Exutation - Independent Output. IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MESUREMENT, vol. IM-21, N3, p.243-255, august 1972), состоящий в компенсации влияния температуры на характеристики ИПП путем формирования выходного сигнала в виде отношения разности падений напряжений на вторичных обмотках к их сумме. Питание ИПП осуществляется от источника напряжения или от источника тока.

Способ основан на допущениях, что вторичные обмотки полностью идентичны по своим геометрическим и электрическим параметрам; относительное перемещение сердечника много меньше единицы, изменение магнитной проницаемости сердечника с температурой незначительны; температурные изменения геометрии преобразователя пренебрежимо малы. В этом случае напряжения на вторичных обмотках  $U_1$  и  $U_2$  можно представить в виде двух независимых функций  $H(T, f, I)$  и  $F(x)$ . Таким образом,

$$U_1 = KxH(T, f, I)xF(x);$$

$$U_2 = KxH(T, f, I)xF(x);$$

где  $x$  - перемещение плунжера от центра первичной обмотки;

$f$  - частота питания первичной обмотки;

$I$  - сила тока в первичной обмотке;

$T$  - температура сужающей среды;

$K$  - коэффициент, зависящий от конструкций преобразователя.

Тогда сформированный сигнал

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2} = \frac{KxH(T, f, I) \{ x[F(x) - F(-x)] \}}{KxH(T, f, I) \{ x[F(x) + F(-x)] \}} = \frac{F(x) - F(-x)}{F(x) + F(-x)}$$

После произведенных алгебраических преобразований видно, что  $U_{\text{вых}}$  функция только перемещения сердечника ( $x$ ) и не зависит от температуры.

Недостаток этого способа в том, что при высоких температурах и при различных

частотах питания, когда допущения, приведенные выше, становятся некорректными, появляется зависимость чувствительности ИПП от температуры. Кроме того, данный способ не уменьшает погрешности ИПП, обусловленные неравномерным разогревом ИПП при работе их в средах с высокими и быстро изменяющимися температурами.

Известен способ компенсации температурной погрешности [В.В. Лебединский, Ю. В Милосердии, Н.Ф. Чеботарев. Измерительные схемы для широкодиапазонных индуктивных преобразователей//Реакторные материалы. М. : Энергоатомиздат, 1983, с. 58-62], по

которому переменное напряжение подают на делитель напряжения, образованный катушками индуктивности  $L_1$  и  $L_2$ , первичного дифференциального индуктивного преобразователя. Падение напряжения на каждой катушке преобразователя

определяется положением сердечника преобразователя. Эти напряжения подают на преобразователи среднвыпрямленного значения (ПСЗ), а затем на фильтры нижних частот (ФНЧ). Постоянные напряжения, полученные с фильтров нижних частот, суммируют, усиливают усилителем постоянного тока (УПТ) и затем регистрируют на отсчетном устройстве.

Уменьшение температурной погрешности, возникающей при разной температуре катушек первичного преобразователя, при таком способе измерения происходит из-за нечувствительности схемы к изменениям фазовых углов сдвига в катушках преобразователя  $L_1$  и  $L_2$  и за счет минимизации длины преобразователя.

К недостаткам такого способа относится ограничение, накладываемое на длину первичного преобразователя. Кроме того, при разной температуре катушек  $L_1$  и  $L_2$  первичного преобразователя или ее быстром изменении изменяется полное сопротивление катушек индуктивности, что приводит не только к изменению фазовых углов сдвига, но и к изменению амплитуды переменного напряжения, что, в свою очередь, приводит к аддитивной погрешности, не компенсируемой данной измерительной схемой. Все вышесказанное снижает точность измерений индуктивных первичных преобразователей и сужает область их применения.

Повышение точности в предлагаемом способе компенсации температурной погрешности индуктивного первичного преобразователя, содержащего как минимум две катушки индуктивности, достигается тем, что суммируют напряжение переменного тока с напряжением постоянного тока, питают этой суммой напряжений индуктивный первичный преобразователь, отфильтровывают переменные напряжения, получаемые с индуктивного первичного преобразователя, фильтром верхних частот, детектируют (выпрямляют) их, суммируют, усиливают, считая этот сигнал рабочим, отфильтровывают напряжения постоянного тока, получаемые с индуктивного первичного преобразователя, фильтрами нижних частот, вычитают одно напряжение из другого, усиливают его на экспериментально подобранный коэффициент, считая этот

сигнал корректирующим, вычитают из рабочего сигнала корректирующий сигнал и регистрируют.

Основные признаки данного изобретения: питание индуктивного первичного преобразователя комбинированным напряжением, состоящим из суммы переменного и постоянного напряжений; фильтрация (выделение) синусоидального и постоянного напряжений, получаемых с индуктивного первичного преобразователя, вычитание из рабочего сигнала корректирующего сигнала.

При питании индуктивного первичного преобразователя, содержащего как минимум две катушки индуктивности, суммой переменного синусоидального и постоянного напряжений, снимаемое с катушек индуктивности индуктивного первичного преобразователя переменное напряжение зависит от полного (активного и реактивного) сопротивления катушек индуктивности. Реактивное сопротивление катушек индуктивности, в свою очередь, определяется положением чувствительного элемента (например, сердечника) индуктивного первичного преобразователя, и в этом случае изменение переменного напряжения на катушках индуктивности является полезным измеряемым сигналом. При неравномерном или неодинаковом прогреве катушек индуктивности их полное сопротивление будет изменяться неодинаково, но в этом случае изменение переменного напряжения на катушках индуктивности обусловленной аддитивной и мультипликативной погрешностями индуктивного первичного преобразователя. Постоянное напряжение на катушках индуктивности будет зависеть только от омического сопротивления катушек индуктивности и не будет зависеть от положения чувствительного элемента, вызывающего изменение только реактивной составляющей полного сопротивления ветвей. Разность сигналов постоянного напряжения катушек индуктивности будет пропорциональна неравномерному или неодинаковому их разогреву. Омическое сопротивление катушек индуктивности увеличивается при возрастании температуры. Полное сопротивление ветвей, состоящее практически из активного и индуктивного сопротивлений, также растет с увеличением температуры. Поэтому сигналы с катушек индуктивности постоянного напряжения можно использовать для коррекции температурной погрешности. Сигналы переменного напряжения с катушек индуктивности фильтруются идентичными фильтрами высоких частот, выпрямляются, суммируются или вычитаются (в зависимости от способа включения катушек индуктивности), усиливаются и затем подаются на один из входов корректирующего устройства (вычитателя). Сигналы напряжения постоянного тока с катушек индуктивности фильтруют идентичными фильтрами низких частот, усиливают дифференциальным усилителем (с определенным коэффициентом передачи), подают на второй вход корректора. В качестве корректора, для уменьшения аддитивной погрешности, может быть использован дифференциальный усилитель, включенный по схеме вычитателя. Для уменьшения

изменения коэффициента передачи ИПП (мультипликативной погрешности) сигналы постоянного тока усиливают дифференциальным усилителем, выход которого соединен с одним из входов умножителя, на второй вход которого подается сигнал, полученный из отфильтрованных, выпрямленных, обработанных, усиленных сигналов переменного тока. Коэффициент передачи дифференциального усилителя подбирается при настройке.

Предлагаемый способ повышает точность измерения за счет уменьшения ухода нуля и изменения чувствительности (аддитивной погрешности) в вышеуказанных преобразователях, работающих в средах с высокими, резко изменяющимися и неравномерными температурными полями.

Для уменьшения аддитивной погрешности из рабочего сигнала вычитается корректирующий сигнал, умноженный на определенный, подобранный коэффициент.

Способ расширяет область применения индуктивных измерительных преобразователей за счет возможности работы преобразователя в жестких и переменных во времени температурных условиях. Причем эти технические результаты достигаются без увеличения габаритных размеров первичных преобразователей и введения в них дополнительных элементов, что является важным фактором при размещении преобразователя во внутриреакторных устройствах.

Функциональная схема устройства, реализующего заявленный способ, представлена на фиг.1, где:

1 - первичный дифференциальный измерительный преобразователь  
2, 3 - катушки дифференциально измерительного преобразователя  
4 - источник постоянного напряжения  
5 - источник переменного напряжения  
6,7 - идентичные детекторы (выпрямители)  
8 - дифференциальный усилитель с двумя дополнительными входами  
9, 10 - фильтры верхних частот  
11, 12 - фильтры нижних частот  
13 - второй дифференциальный усилитель  
14 - сумматор

15 - третий дифференциальный усилитель  
Напряжение питания постоянного тока с источника напряжения 4 и с генератора синусоидального напряжения 5 суммируют сумматором 14 и подают на индуктивный первичный преобразователь 1, имеющей две катушки индуктивности 2 и 3. Синусоидальное напряжение с ветвей 2 и 3 фильтруют идентичными фильтрами верхних частот 9 и 10, выпрямляют идентичными детекторами 6 и 7, усиливают дифференциальными усилителями 8, 13 с одинаковыми коэффициентами усиления и после усилителя 13 регистрируют одним каналом двухлучевого осциллографа.

Напряжение постоянного тока с катушек индуктивности ветвей 2, 3 индуктивного первичного преобразователя фильтруют идентичными фильтрами нижних частот 11, 12, усиливают дифференциальным усилителем 15, с выхода которого сигнал подают на дополнительный суммирующий вход дифференциального усилителя 8 после которого сигнал регистрируют вторым

каналом двухлучевого осциллографа.

Схема собрана и настроена так, что при разбалансе ветвей 2, 3, представляющих собой катушки индуктивности индуктивного первичного преобразователя, вызванного различными температурами этих ветвей, сигнал разбаланса (ухода нуля), появляющийся на выходе дифференциального усилителя 13, компенсируется сигналом с дифференциального усилителя 15, поданного на дополнительный вход дифференциального усилителя 8.

На фиг.2 приведены осциллограммы влияния кратковременного нагрева (15 с,  $t = 850^{\circ}\text{C}$ ) рабочей катушки индуктивности (ветвь 2) индуктивного первичного преобразователя при нулевом измеряемом сигнале X на выходные сигналы устройства.

На фиг.3 приведены осциллограммы влияния кратковременного нагрева (15 с;  $t = 800^{\circ}\text{C}$ ) компенсационной катушки индуктивности (ветвь 3) индуктивного первичного преобразователя при нулевом измеряемом сигнале X на выходные сигналы

устройства.

### Формула изобретения:

Способ компенсации температурной погрешности индуктивного первичного преобразователя, содержащего как минимум две катушки индуктивности, заключающийся в том, что суммируют напряжение переменного тока с напряжением постоянного тока, питают этой суммой напряжений индуктивный первичный преобразователь, отфильтровывают переменные напряжения, получаемые с индуктивного первичного преобразователя, фильтром верхних частот, детектируют их, суммируют, усиливают, считая этот сигнал рабочим, отфильтровывают напряжения постоянного тока, получаемые с индуктивного первичного преобразователя, фильтрами нижних частот, вычитают одно напряжение из другого, усиливают на экспериментально подобранный коэффициент, считая этот сигнал корректирующим, вычитают из рабочего сигнала корректирующий сигнал и регистрируют.

25

30

35

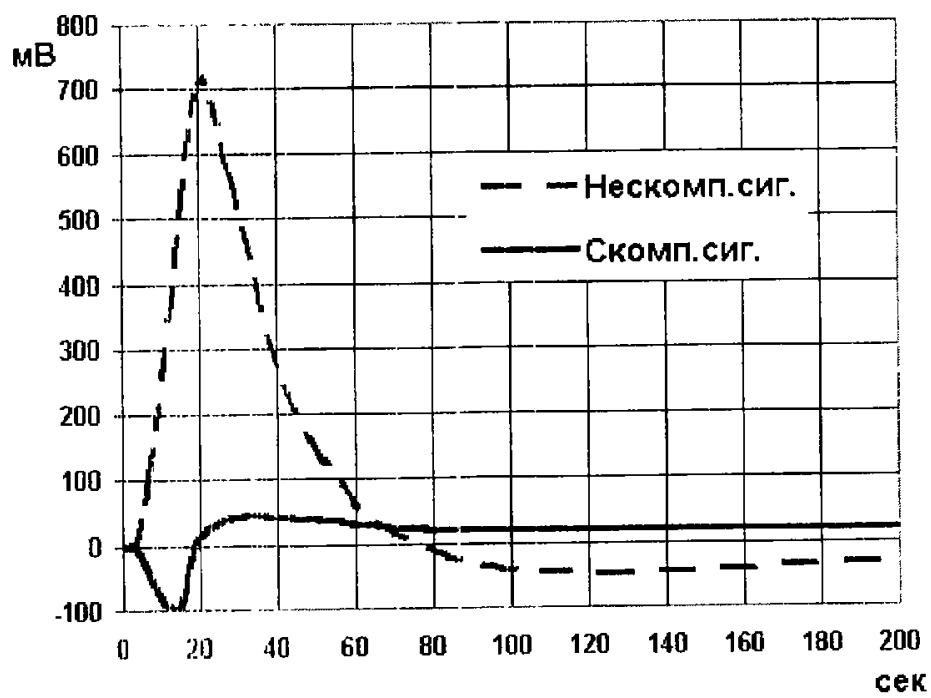
40

45

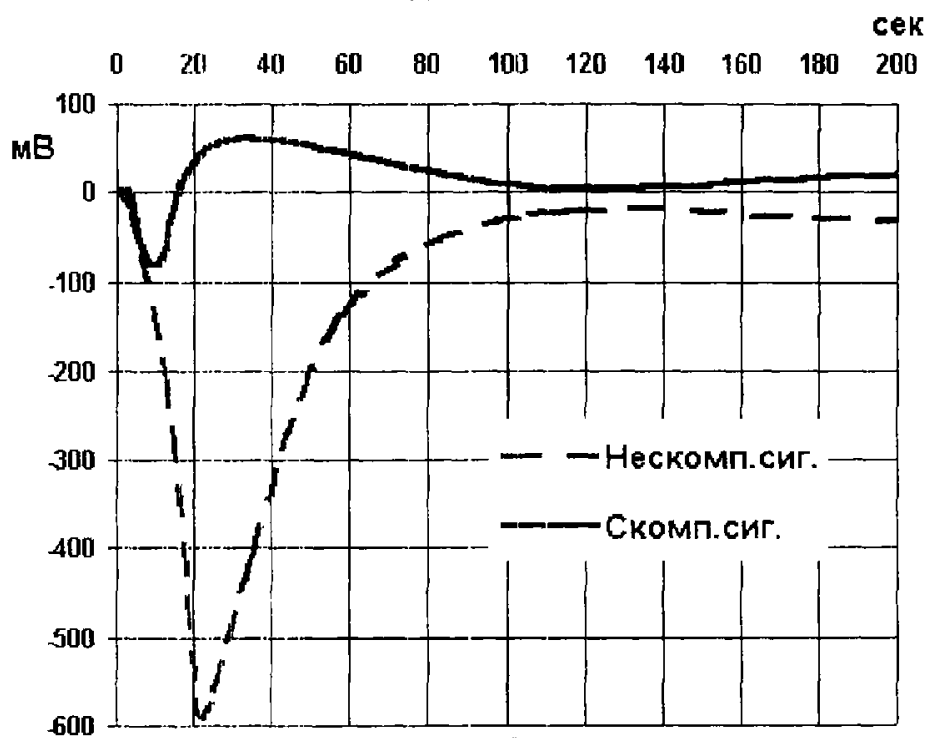
50

55

60



Фиг.2



Фиг.3