



(19) RU<sup>(11)</sup> 2 194 242<sup>(13)</sup> C2  
(51) МПК<sup>7</sup> G 01 B 7/00, G 01 D 5/22

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000132160/28, 21.12.2000

(24) Дата начала действия патента: 21.12.2000

(46) Дата публикации: 10.12.2002

(56) Ссылки: RU 2065591 C1, 20.08.1996. GB  
2248503 A, 08.04.1992. FR 2381285,  
05.12.1980. DE 3512529, 07.11.1985.

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

(71) Заявитель:

Государственный научный центр  
Научно-исследовательский институт атомных  
реакторов

(72) Изобретатель: Котов Н.П.,  
Валиуллин Ф.Х., Сулаберидзе В.Ш.

(73) Патентообладатель:

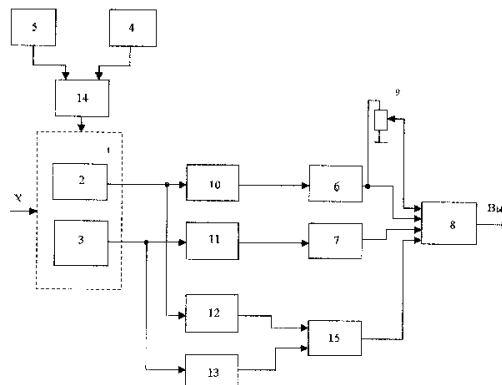
Государственный научный центр  
Научно-исследовательский институт атомных  
реакторов

### (54) УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ИНДУКТИВНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

(57)

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в ядерной и тепловой энергетике. Дифференциальный индуктивный измерительный преобразователь содержит, по крайней мере, две ветви, два идентичных выпрямителя и первый дифференциальный усилитель, основные входы которого подключены к выходам выпрямителей, и переменный резистор, подключенный к выходу одного из двух выпрямителей. Движок переменного резистора подключен к первому дополнительному входу дифференциального усилителя. Устройство снабжено сумматором переменного и постоянного напряжения, двумя идентичными фильтрами нижних частот, двумя идентичными фильтрами верхних частот, вторым дифференциальным усилителем. Первый дифференциальный усилитель снабжен вторым дополнительным входом, источником питания постоянного тока, выход которого подсоединен к первому входу сумматора, второй вход которого соединен с выходом источника переменного тока, а выход - с входом индуктивного дифференциального первичного преобразователя, первый выход которого соединен с входами первого фильтра нижних

частот и первого фильтра верхних частот, а второй - с входами второго фильтра верхних частот, идентичного первому фильтру верхних частот, и второго фильтра нижних частот. Выходы первого и второго фильтров верхних частот подключены к входам соответственно первого и второго выпрямителей, выходы первого и второго фильтров нижних частот подключены к входам второго дифференциального усилителя, выход которого подсоединен ко второму дополнительному входу первого дифференциального усилителя. Устройство обеспечивает высокую точность измерений. 1 ил.





(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 194 242** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) Int. Cl.<sup>7</sup> **G 01 B 7/00, G 01 D 5/22**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2000132160/28, 21.12.2000

(24) Effective date for property rights: 21.12.2000

(46) Date of publication: 10.12.2002

(98) Mail address:  
433510, Ul'janovskaja obl., g. Dimitrovgrad,  
GNTs NIIAR

(71) Applicant:  
Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr  
Nauchno-issledovatel'skij institut atomnykh  
reaktorov

(72) Inventor: Kotov N.P.,  
Valiullin F.Kh., Sulaberidze V.Sh.

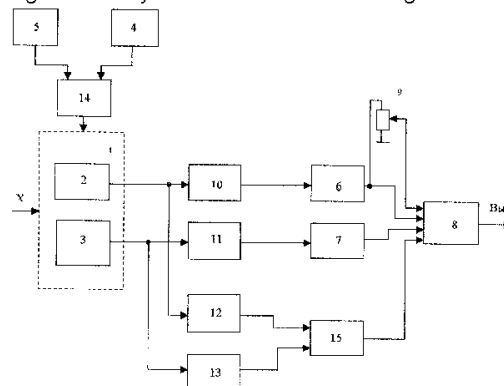
(73) Proprietor:  
Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr  
Nauchno-issledovatel'skij institut atomnykh  
reaktorov

(54) **DEVICE FOR BUILDING OUTPUT SIGNAL OF INDUCTIVE DIFFERENTIAL MEASUREMENT TRANSDUCER**

(57) Abstract:

FIELD: measurement technology.  
SUBSTANCE: device has at least two branches, two identical rectifiers and the first differential amplifier the main inputs of which are connected to rectifiers outputs, and variable resistor connected to output of one of two rectifiers. Variable resistor slider is connected to the first additional input of differential amplifier. The device has adder of alternating and constant voltage, two identical high frequencies filters and the second differential amplifier. The first differential amplifier has the second additional input, direct current power supply source which output is connected to the first adder input and the second input of which is connected to alternating current power supply source output and its output is connected to inductive differential primary transducer the first output of which is connected to inputs of the first low frequency filter and the first high frequency filter and the second one is connected to inputs of the second high frequency filter identical to

the first high frequency filter and the second low frequency filter. Outputs of the first and the second high frequency filters are connected to inputs of the first and the second rectifiers, respectively. Outputs of the first and the second low frequency filters are connected to the second differential amplifier inputs which output is connected to the second additional input of the first differential amplifier. EFFECT: high accuracy of measurements. 1 dwg



Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано при исследованиях в ядерной и тепловой энергетике для измерения электрических и неэлектрических величин в средах с высокими, изменяющимися и неравномерными температурными полями с помощью индуктивных дифференциальных измерительных преобразователей, индуктивных мостовых измерительных преобразователей, а также с помощью дифференциально-трансформаторных измерительных преобразователей.

Широкое распространение при исследованиях в ядерной и тепловой энергетике получили индуктивные дифференциальные, индуктивные мостовые и дифференциально-трансформаторные измерительные преобразователи.

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

Известно устройство [В.В. Лебединский, Ю.В. Милосердин, А.А. Силин, Н.Ф. Чеботырев. Индуктивные измерительные системы для внутриреакторных исследований. В книге "Техника радиационного эксперимента". М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 47-56], включающее в себя первичный индуктивный измерительный преобразователь, схему включения этого преобразователя, генератор переменного тока, питающий эту схему, и демодулятор, выделяющий измерительную информацию из промодулированного напряжения несущей частоты. На выходе демодулятора создается выпрямленное напряжение, пропорциональное измеряемому перемещению. Это выпрямленное напряжение через согласующий усилитель постоянного тока подается на измеритель напряжения, выполняющий функции отсчетного устройства.

Для уменьшения температурной погрешности коэффициента преобразования первичного индуктивного преобразователя используется оптимальная частота, питающего генератора  $f_{\text{опт}}$ , на которой температурная погрешность коэффициента преобразования первичного преобразователя минимальна. Частоты  $f_{\text{опт}}$  существует для всех типов индуктивных преобразователей, включая и взаимноиндуктивные (трансформаторные). Эта частота зависит от конструктивных особенностей индуктивного преобразователя, изменяется в широких пределах (10 - 5000 Гц) и определяется экспериментально.

Недостаток устройства в том, что  $f_{\text{опт}}$  фиксированная величина для индуктивного преобразователя данной конструкции, а это не дает возможности подобрать частоту питания, необходимую по условиям эксперимента, что ограничивает область применения системы. Так, в

приведенной работе  $f_{\text{опт}}$  для первичного индуктивного преобразователя с замкнутым магнитопроводом (воздушным зазором)  $f_{\text{опт}} = 22$  Гц, что позволяет регистрировать исследуемый процесс с частотой только  $\leq 11$  Гц, что реально в пять раз меньше. Кроме того, использование  $f_{\text{опт}}$  не уменьшает погрешность ухода нуля первичного индуктивного преобразователя, вызванную неравномерным разогревом этого преобразователя при работе в средах с высокими и быстроизменяющимися температурами.

Устройство, описанное в [И.Е. Александров, Н.Ф. Чеботарев. Разработка и макетные испытания терморадационно-стойкого индуктивного преобразователя линейных перемещений. В книге "Реакторные испытания материалов". М.: Энергоатомиздат, 1983, с. 62-68], включает в себя индуктивный дифференциальный первичный преобразователь с двумя обмотками индуктивности, подвижным сердечником, включенный по схеме делителя напряжения и питаемый генератором переменного синусоидального напряжения. Фазочувствительный выпрямитель преобразует сигнал с катушек первичного преобразователя в постоянное напряжение, которое регистрируется цифровым вольтметром, проградуированным в единицах длины.

Для уменьшения температурной погрешности коэффициента преобразования индуктивного первичного преобразователя в этом устройстве, как и в устройстве, описанном выше, применялась оптимальная частота питания (4 кГц), определенная экспериментально в лабораторных условиях.

Для уменьшения дополнительной составляющей погрешности в реакторных условиях, возникающей из-за наличия разности температур между корпусом первичного преобразователя и его обмотками, проводили дополнительную корректировку частоты питающего напряжения. Для этого строили кривые зависимости чувствительности от частоты питания при разных температурах и точки их пересечения принимали за рабочую частоту. Эта частота была меньше найденной в лабораторных опытах (3,6 кГц).

Такой способ коррекции температурной погрешности громоздок, неудобен и не всегда возможен. Более того, он не исключает температурные погрешности, вызванные резкими изменениями температурного поля в среде, окружающей первичный преобразователь при исследованиях в реакторных установках быстротекающих процессов, возникающих, например, в аварийных экспериментах.

Устройство, описанное в [В.В. Лебединский, Ю.В. Милосердин, Н.Ф. Чеботарев. Измерительные схемы для широкодиапазонных индуктивных преобразователей. В книге "Реакторные испытания материалов.", М.: Энергоатомиздат, 1983, с. 58-62], состоит из генератора переменного напряжения, которое подается 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. Это напряжение подается на преобразователь среднечастотного значения (ПСЗ), а затем на фильтр нижних частот (ФНЧ). Постоянные напряжения, полученные от фильтров нижних частот, преобразуются сумматором  $\Sigma$  и подаются на усилитель постоянного тока (УПТ) и затем на отсчетное устройство.

Уменьшение температурной погрешности, возникающей при разной температуре катушек первичного преобразователя, в этом устройстве происходит из-за нечувствительности схемы к изменениям фазовых углов сдвига в катушках преобразователя  $L_1$  и  $L_2$ .

К недостаткам данной измерительной системы относятся определенные требования, накладываемые на конструкцию первичного преобразователя. Необходимо стремиться к минимально возможной длине преобразователя, сохраняя при этом возможно большим диапазон линейности его характеристики, что не всегда возможно. 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.

Известно устройство формирования выходного сигнала измерительного преобразователя [Патент РФ 2142113 от 02.10.98, 27, Бюл. N33, 1999, авторы Долгих В. В., Буняев В.А., Болдырев В.Т.], которое может быть использовано для измерения электрических и неэлектрических величин с помощью дифференциальных, например мостовых, преобразователей, в том числе индуктивных и дифференциально-трансформаторных. Устройство, питаемое переменным током, содержит дифференциальный измерительный преобразователь, включающий по крайней мере две ветви и два выпрямителя, соединенных с выходами ветвей измерительного преобразователя, и дифференциальный усилитель, входы которого подключены к выходам выпрямителей. Для получения более высокой точности измерения в устройство дополнительно введен переменный резистор, подключенный к входу одного из выпрямителей. Движок переменного резистора подключен к дополнительному входу дифференциального усилителя. Выходной сигнал этого устройства равен

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{пит}} \times K_g \times \alpha_1 [(K_1 + K_2) \times X + (\gamma_1 - \gamma_2)],$$

где  $\alpha_1$  - коэффициент передачи первой ветви измерительного преобразователя;

$\gamma_1$  и  $\gamma_2$  - коэффициенты неустойчивости ветвей измерительного преобразователя под действием возмущающих факторов (температура, влажность и т.п.), равные относительно изменению параметра ветви (индуктивность, сопротивление, емкость) под влиянием внешних воздействий;

$K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты чувствительности к измеряемой величине  $X$  ветвей преобразователя;

$U_{\text{пит}}$  - напряжение питания

преобразователя;

$K_g$  - коэффициент усиления дифференциального усилителя.

Таким образом, в нормальных условиях при неидентичных ветвях в дифференциальном измерительном преобразователе введенным переменным резистором выходной сигнал дифференциального усилителя можно установить в ноль. Причем влияние внешних возмущающих факторов будет определяться только неидентичностью ветвей измерительного преобразователя, разностью  $(\gamma_1 - \gamma_2)$ . Цепь балансировки дополнительной погрешности не вносит.

Однако это устройство, так же как и приведенные выше, не уменьшает погрешность, связанную с неодинаковым нагревом ветвей первичного преобразователя. В этом случае разность  $(\gamma_1 - \gamma_2)$  может быть значительной. Кроме того, в этом устройстве не устраняется погрешность, возникающая из-за изменения чувствительности ( $K_1$  и  $K_2$ ) под действием температуры. Необходимо также отметить, что при работе первичного преобразователя при достаточно высоких температурах окружающей среды ( $>300^\circ \text{C}$ ) разность  $(\gamma_1 - \gamma_2)$ , из-за неидентичности ветвей преобразователя может быть значительной даже при равномерном их нагреве.

Для повышения точности измерений в устройство, содержащее дифференциальный измерительный преобразователь, дифференциальный усилитель, источник переменного тока, два выпрямителя и переменный резистор, дополнительно включены источник напряжения постоянного тока, сумматор переменного и постоянного напряжений, два идентичных фильтра нижних частот (ФНЧ), два идентичных фильтра верхних частот (ФВЧ), второй дифференциальный усилитель (ДУ), а первый дифференциальный усилитель снабжен вторым дополнительным входом. Выходы источников постоянного и переменного напряжений соединены с входами сумматора, с выхода которого напряжение подается для питания первичного преобразователя. Выходы двух ветвей первичного преобразователя соединены с входами ФНЧ и ФВЧ. Выходы ФНЧ соединены с двумя входами второго ДУ, выход которого соединен со вторым дополнительным входом первого ДУ. Выходы ФВЧ соединены с входами выпрямителей, выходы которых соединены с основными двумя входами первого ДУ.

Основные существенные признаки данного изобретения: введение в устройство блока источника постоянного тока и блока сумматора постоянного и переменного напряжений, включение источника постоянного напряжения в цепь вторичных обмоток ДТИП, блоков идентичных фильтров низких и высоких частот, второго дифференциального усилителя, блока коррекции, представляющего собой первый ДУ со вторым дополнительным входом, и соответствующих новых связей между ними.

При питании преобразователя суммой

переменного синусоидального и постоянного напряжений снимаемое с ветвей преобразователя переменное напряжение зависит от полного (активного и реактивного) сопротивления ветвей. Реактивное сопротивление ветвей, в свою очередь, определяется положением чувствительного элемента (например, сердечника) преобразователя, и в этом случае изменение переменного напряжения ветвей является полезным измеряемым сигналом. При неравномерном или неодинаковом прогреве ветвей их полное сопротивление будет изменяться неодинаково, и в этом случае изменение переменного напряжения ветвей обусловлено аддитивной погрешностью преобразователя.

Постоянное напряжение будет зависеть только от омического сопротивления (сопротивления постоянного тока) ветвей и не будет зависеть от положения чувствительного элемента, вызывающего изменение в основном реактивной составляющей полного сопротивления ветвей. Разность сигналов постоянного напряжения ветвей будет пропорциональна неравномерному или неодинаковому их разогреву. Омическое сопротивление ветвей увеличивается при возрастании температуры. Полное сопротивление ветвей, состоящее практически из активного и индуктивного сопротивлений, также растет с увеличением температуры. Поэтому сигналы с ветвей от постоянного напряжения можно использовать для коррекции температурной погрешности. Сигналы переменного напряжения с ветвей фильтруются идентичными фильтрами высоких частот и обрабатываются и затем подаются на основные входы сумматора. Сигналы напряжения постоянного тока с ветвей фильтруются идентичными фильтрами низких частот, вычитаются дифференциальным усилителем и с (определенным коэффициентом передачи) подаются на второй дополнительный вход дифференциального усилителя.

Предлагаемое устройство повышает точность измерения за счет уменьшения аддитивной погрешности и выше указанных преобразователей, работающих в средах с высокими, резко изменяющимися и неравномерными температурными полями.

При работе в таких условиях аддитивная погрешность возникает из-за разницы температур в ветвях преобразователя и неидентичности ветвей.

Область применения предлагаемого устройства расширяется 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.

Представлена структурная схема предлагаемого устройства.

Устройство состоит из дифференциально измерительного преобразователя 1, где 2, 3 - ветви дифференциально измерительного преобразователя, источника постоянного напряжения 4, источника переменного напряжения 5, идентичных детекторов

(выпрямителей) 6, 7, дифференциального усилителя с двумя дополнительными входами 8, переменного резистора 9, идентичных фильтров верхних частот 10, 11, идентичных фильтров нижних частот 12, 13, сумматора 14 и второго дифференциального усилителя 15.

Работает предлагаемое устройство следующим образом.

Индуктивный дифференциальный измерительный преобразователь 1, состоящий из ветви 2 и ветви 3, запитываются через сумматор 14 суммой переменного и постоянного напряжений от источника переменного напряжения 5 и источника постоянного напряжения 4. На выходах ветвей 2 и 3 возникает сумма переменного и постоянного напряжений. Переменное напряжение модулировано измеряемым сигналом и влияющими факторами, а постоянное напряжение зависит только от омических сопротивлений ветвей 2 и 3 дифференциально индуктивного преобразователя и не модулируется измеряемым сигналом. Омические сопротивления ветвей, в свою очередь, зависят только от влияющих факторов (температура, излучение и т.п.). Модулированные переменные напряжения с ветвей 2 и 3 выделяются идентичными фильтрами высоких частот 10 и 11, пропускающих без искажения модулированное переменное напряжение, и обрабатываются выпрямителями 6, 7, переменным резистором 9 и первым дифференциальным усилителем. В результате на выходе первого дифференциального усилителя 8 при нулевом корректирующем сигнале на его втором дополнительном входе выходное напряжение будет

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{пит}} \times K_g \times \alpha_1 [(K_1 + K_2) \times X + (\gamma_1 - \gamma_2)],$$

где X - измеряемая физическая величина;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициент передачи

измеряемого напряжения ветвей 2 и 3 соответственно дифференциально индуктивного преобразователя;

$\gamma_1$  и  $\gamma_2$  - коэффициенты неустойчивости ветвей 2 и 3 соответственно для переменного напряжения под действием возмущающих факторов (температура, излучение и т. п. ) и равные относительно изменению параметра ветви (индуктивности, сопротивления, емкости) под влиянием внешних факторов;

$K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты чувствительности к измеряемой величине X ветвей 2 и 3 соответственно;

$U_{\text{пит}}$  - напряжение источника 5 переменного напряжения;

$K_g$  - коэффициент усиления дифференциального усилителя 8.

Постоянное напряжение с ветвей 2 и 3, реагирующих только на влияющие факторы, изменяющие омическое сопротивление ветвей, выделяется фильтрами нижних частот 12 и 13, усиливается вторым дифференциальным усилителем 15. Так как характер изменения индуктивности и полного сопротивления ветвей 2 и 3 под воздействием температуры, совпадает с изменением омического сопротивления этих ветвей, усиление дифференциального усилителя 15 подбирается таким, чтобы сигнал на его выходе был равен

$$U_{\text{вых0}} = -U_{\text{пит}} \times K_g \times \alpha_1 [(\gamma_1 - \gamma_2)]$$

Этот сигнал подается на второй дополнительный вход первого дифференциального усилителя 8. Таким образом, осуществляется коррекция аддитивной погрешности. Выходной сигнал устройства снимается с выхода усилителя 8.

### Формула изобретения:

Устройство формирования выходного сигнала индуктивного дифференциального измерительного преобразователя, содержащее источник переменного тока, индуктивный дифференциальный измерительный преобразователь, содержащий по крайней мере, две ветви, два идентичных выпрямителя и первый дифференциальный усилитель, основные входы которого подключены к выходам выпрямителей, переменный резистор, подключенный к выходу одного из двух выпрямителей, причем движок переменного резистора подключен к первому дополнительному входу дифференциального усилителя, отличающееся тем, что оно снабжено сумматором переменного и постоянного напряжения, двумя идентичными

фильтрами нижних частот, двумя идентичными фильтрами верхних частот, вторым дифференциальным усилителем, а первый дифференциальный усилитель снабжен вторым дополнительным входом, источником питания постоянного тока, выход которого подсоединен к первому входу сумматора, второй вход которого соединен с выходом источника переменного тока, а выход - с входом индуктивного дифференциального первичного преобразователя, первый выход которого соединен с входами первого фильтра нижних частот и первого фильтра верхних частот, а второй - с входами второго фильтра верхних частот, идентичного первому фильтру верхних частот, и второго фильтра нижних частот, выходы первого и второго фильтров верхних частот подключены к входам соответственно первого и второго выпрямителей, выходы первого и второго фильтров нижних частот подключены к входам второго дифференциального усилителя, выход которого подсоединен ко второму дополнительному входу первого дифференциального усилителя.

25

30

35

40

45

50

55

60