



(51) МПК  
*H03F 3/34* (2006.01)  
*G01R 19/00* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2005102464/09**, **01.02.2005**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**01.02.2005**

(45) Опубликовано: **27.05.2006** Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: НИКУЛИН Э.С. и др. Об одном методе компенсации температурного дрейфа линейных многодиапазонных электрометрических преобразователей тока. В научн.-техн. сб. "Системы управления и обработки информации". СПб.: ФНПЦ "НПО "Аврора", 2002, вып.4, с.111-120, рис.1. SU 1483599 A1, 30.05.1989. RU 2011994 C1, 30.04.1994. SU 1656470 A1, 15.06.1991. US 4105967 A, 08.08.1978.

Адрес для переписки:

**194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15,  
 ФГУП "НПО "Аврора", технический отдел**

(72) Автор(ы):

**Никулин Эдуард Сергеевич (RU),  
 Пахоменков Юрий Михайлович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

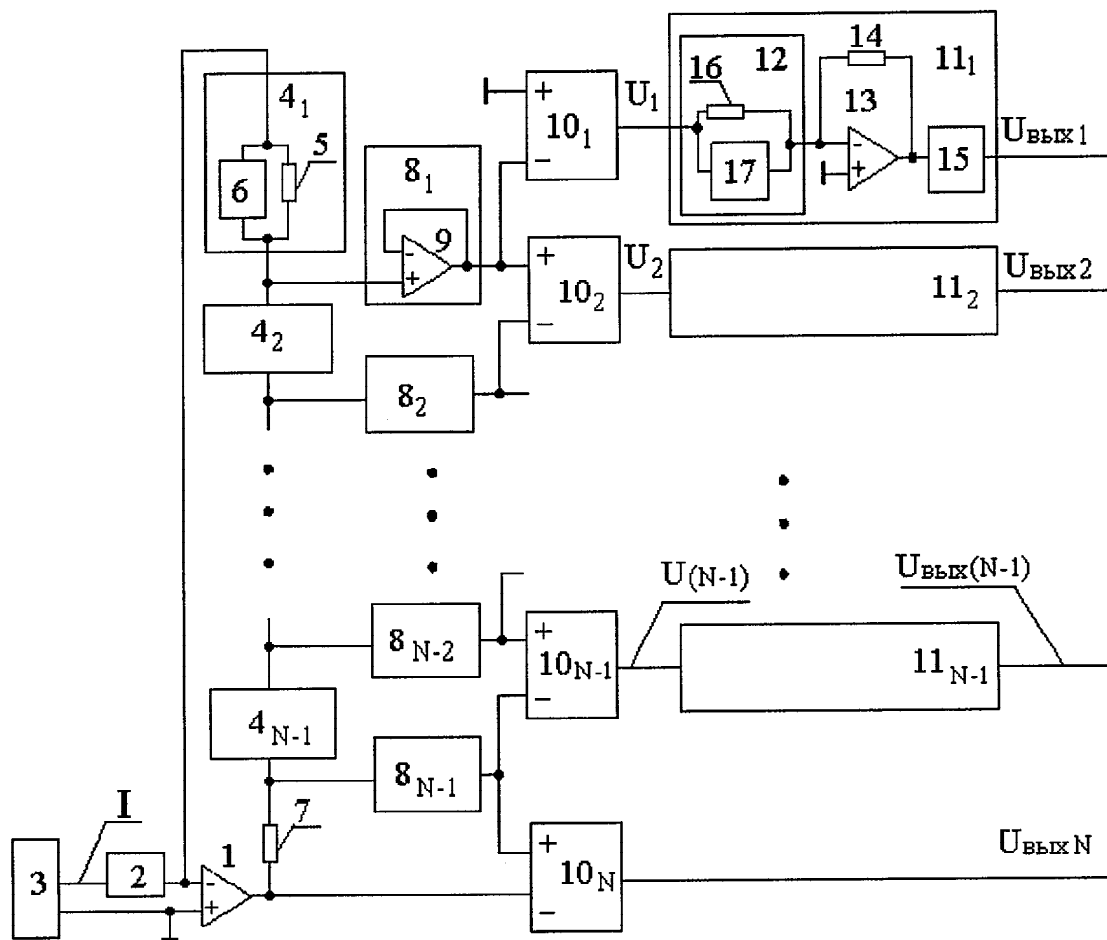
**Федеральное государственное унитарное  
 предприятие "Научно-производственное  
 объединение "Аврора" (RU)**

## (54) ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА

(57) Реферат:

Использование: при измерении малых токов в различных областях техники. Технический результат заключается в повышении точности работы электрометрического преобразования тока в широком диапазоне температур. Преобразователь (с N диапазонами преобразования) содержит операционный усилитель, выход которого через фильтр подключен к источнику входного тока, а цепь отрицательной обратной связи образована N-1 последовательно соединенными датчиками тока, каждый из которых образован параллельно включенными резистором и ограничителем напряжения, N-1 повторителей напряжения и N дифференциальных усилителей, причем выход N-го дифференциального усилителя является информационным выходом для N-го диапазона

преобразования. В преобразователь тока введены N-1 нелинейных преобразователей, каждый из которых содержит последовательно включенные модель датчика тока, операционный усилитель с резистором в цепи отрицательной обратной связи и масштабирующий усилитель, выход которого является информационным выходом для соответствующего диапазона преобразования. Модель датчика тока в каждом нелинейном преобразователе образована параллельным соединением моделирующих резистора и ограничителя напряжения. При этом ограничители напряжения в датчиках тока и в соответствующих им моделях датчиков тока выполнены на нелинейных элементах, согласованных по параметрам и совмещенных в одном кристалле. 1 з.п. ф-лы, 1 ил.





(51) Int. Cl.  
*H03F 3/34* (2006.01)  
*G01R 19/00* (2006.01)

FEDERAL SERVICE  
 FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
 PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2005102464/09, 01.02.2005**

(24) Effective date for property rights: **01.02.2005**

(45) Date of publication: **27.05.2006 Bull. 15**

Mail address:  
**194021, Sankt-Peterburg, ul. Karbysheva, 15,  
 FGUP "NPO "Avrora", tekhnicheskij otdel**

(72) Inventor(s):  
**Nikulin Ehdvard Sergeevich (RU),  
 Pakhomenkov Jurij Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):  
**Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe  
 predpriyatje "Nauchno-proizvodstvennoe  
 ob"edinenie "Avrora" (RU)**

(54) **ELECTROMETRIC CURRENT TRANSFORMER**

(57) Abstract:

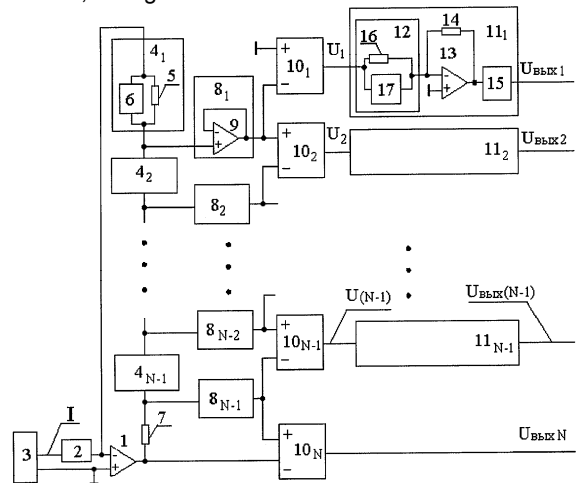
FIELD: technology for measuring lesser currents in various technical areas.

SUBSTANCE: transformer (with N transformation ranges) contains operation amplifier, output of which through filter is connected to input current source, and negative check connection circuit is formed by N-1 serially connected current indicators, each one of which is formed by resistor and voltage limiter connected in parallel, N-1 voltage repeaters and N differential amplifiers, while output of Nth differential amplifier is an informational output for Nth transformation range. Current transformer additionally includes N-1 linear transformers, each one of which contains serially connected current indicator model, operation amplifier with resistor in negative check connection circuit and scaling amplifier, output of which acts as informational output for appropriate transformation range. Current indicator model in each nonlinear transformer is formed by parallel connection of modeling resistor and voltage limiter. Voltage limiters in current indicators

and in current indicator models appropriate for these are made using nonlinear elements, having synchronized parameters and combined within one crystal.

EFFECT: increased operation precision of electrometric current transformation within broad range of temperatures.

2 cl, 1 dwg



RU 2 277 294 C1

RU 2 277 294 C1

Предлагаемое изобретение относится к электроизмерительной технике и может быть использовано при измерении малых токов в различных областях техники.

Известны устройства для измерения малых токов с логарифмирующими и термокомпенсирующими элементами (см., например, Проектирование устройств на базе аналоговых функциональных модулей и интегральных схем. Справочник по нелинейным схемам под ред. Шейнголда Д.М., "Мир", 1977, с.466-469, фиг.2.5.6 на с.167; Wong J. A collection of Amp applications Designers Reference Manual/ AN106 / CD Analog Devices Inc. 2002 г. и др.). В этих устройствах за счет логарифмирования преобразуемого тока удается избежать применения высокоомных резисторов и коммутирующих элементов в цепи обратной связи операционного усилителя. Однако данные устройства характеризуются низкой точностью работы в широком диапазоне входных токов и относительно большой температурной погрешностью.

Известны электрометрические усилители, содержащие усилитель постоянного тока с несколькими цепями отрицательной обратной связи и коммутирующие элементы по числу диапазонов измерения (см., например, "Электрометрический усилитель" по авт. св. № 1142882 А, МПК Н 03 F 3/34, "Электрометрический усилитель" по авт. св. № 1483599 А1, Н 03 F 3/34, Полтинников С.А. Преобразователь фототока // Приборы и техника эксперимента - 1987. - № 4. - С.140-142 и др.). Однако данные устройства характеризуются повышенными требованиями к параметрам (току утечки и минимальному допустимому значению коммутируемого тока) коммутирующих элементов, а также низким быстродействием, что обусловлено длительным процессом заряда паразитных емкостей высокоомных резисторов при переключении диапазонов измерения.

Прототипом заявленного устройства является многодиапазонный электрометрический преобразователь тока (см. Никулин Э.С., Пахоменков Ю.М. Об одном методе компенсации температурного дрейфа линейных многодиапазонных электрометрических преобразователей тока // Системы управления и обработки информации. Научн.-техн. сб. - ФНПЦ "НПО "Аврора", СПб. - 2002. - Вып.4. - С.111-120, рис.1).

Данный электрометрический преобразователь тока с N диапазонами преобразования содержит входной операционный усилитель, инвертирующий вход которого через фильтр подключен к источнику входного тока, цепь отрицательной обратной связи из N-1 последовательно соединенных датчиков тока, каждый из которых образован параллельно включенными резистором и ограничителем напряжения, причем вход первого датчика тока соединен с инвертирующим входом входного операционного усилителя, а выход (N-1)-го датчика тока через резистор с выходом входного операционного усилителя, N-1 повторителей напряжения, вход каждого из которых подключен к выходу соответствующего датчика тока, и N дифференциальных усилителей, неинвертирующий вход первого из которых подключен к шине нулевого потенциала, инвертирующий вход каждого предыдущего соединен с неинвертирующим входом каждого последующего и с выходом соответствующего повторителя напряжения, а инвертирующий вход N-го дифференциального усилителя, выход которого является информационным выходом для N-го диапазона, подключен к выходу входного операционного усилителя.

В этом электрометрическом преобразователе тока за счет применения в нем датчиков тока, последовательно включенных в цепи отрицательной обратной связи входного операционного усилителя, обеспечено высокое быстродействие в широком диапазоне входных токов, причем каждый последующий диапазон преобразования включает все предыдущие диапазоны. В нем также применен метод автоматической коррекции температурного дрейфа смещения нуля путем подачи сигнала температурной коррекции на выходные каскады преобразователя (дифференциальные усилители).

Недостаток данного устройства заключается в погрешности, обусловленной токами утечки ограничителей напряжения, зависимость которых от температуры окружающей среды и падений напряжения на соответствующих ограничителях приводят к температурной погрешности преобразователя тока и нелинейности его статической характеристики.

Задачей предлагаемого изобретения является повышение точности преобразования.

Для решения указанной задачи в электрометрический преобразователь тока с N диапазонами преобразования, содержащий входной операционный усилитель, инвертирующий вход которого через фильтр подключен к источнику входного тока, цепь отрицательной обратной связи из N-1 последовательно соединенных датчиков тока, каждый из которых образован параллельно включенными резистором и ограничителем напряжения, причем вход первого датчика тока соединен с инвертирующим входом входного операционного усилителя, а выход (N-1)-го датчика тока через резистор с выходом входного операционного усилителя, N-1 повторителей напряжения, вход каждого из которых подключен к выходу соответствующего датчика тока, и N дифференциальных усилителей, неинвертирующий вход первого из которых подключен к шине нулевого потенциала, инвертирующий вход каждого предыдущего соединен с неинвертирующим входом каждого последующего и с выходом соответствующего повторителя напряжения, а инвертирующий вход N-го дифференциального усилителя, выход которого является информационным выходом для N-го диапазона, подключен к выходу входного операционного усилителя, введены N-1 нелинейных преобразователей, каждый из которых содержит последовательно включенные модель датчика тока, операционный усилитель с резистором в цепи отрицательной обратной связи и масштабирующий усилитель, выход которого является информационным выходом для соответствующего диапазона преобразования, причем вход модели датчика тока в каждом нелинейном преобразователе, образованной параллельным соединением моделирующих резистора и ограничителя напряжения, подключен к выходу соответствующего дифференциального усилителя, неинвертирующий вход операционного усилителя соединен с шиной нулевого потенциала, а ограничители напряжения в датчиках тока и в соответствующих им моделях датчиков тока выполнены на нелинейных элементах, согласованных по параметрам и смещенных в одном кристалле.

На чертеже представлена структурная схема предлагаемого электрометрического преобразователя тока.

Электрометрический преобразователь тока содержит входной операционный усилитель 1, инвертирующий вход которого через фильтр 2 подключен к источнику 3 входного тока, цепь отрицательной обратной связи из N-1 последовательно соединенных датчиков 4 тока, каждый из которых образован параллельно включенными резистором 5 и ограничителем 6 напряжения, причем вход первого датчика тока соединен с инвертирующим входом входного операционного усилителя 1, а выход (N-7)-го датчика тока через резистор 7 с выходом входного операционного усилителя 1, N-1 повторителей 8 напряжения, вход каждого из которых, выполненных на операционном усилителе 9, подключен к выходу соответствующего датчика тока, и N дифференциальных усилителей 10, неинвертирующий вход первого из которых подключен к шине нулевого потенциала, инвертирующий вход каждого предыдущего соединен с неинвертирующим входом каждого последующего и с выходом соответствующего повторителя напряжения, а инвертирующий вход N-го дифференциального усилителя 10, выход которого является информационным выходом для N-го диапазона, подключен к выходу входного операционного усилителя 1. Электрометрический преобразователь включает в себя также N-1 нелинейных преобразователей 11, каждый из которых содержит последовательно включенные модель 12 датчика тока, операционный усилитель 13 с резистором 14 в цепи отрицательной обратной связи и масштабирующий усилитель 15, выход которого является информационным выходом для соответствующего диапазона преобразования, причем вход модели 12 датчика тока в каждом нелинейном преобразователе, образованной параллельным соединением моделирующих резистора 16 и ограничителя 17 напряжения, подключен к выходу соответствующего дифференциального усилителя, а неинвертирующий вход операционного усилителя 13 соединен с шиной нулевого потенциала. При этом ограничители 6 и 17 напряжения в датчиках 4 тока и в соответствующих им моделях 12 датчиков тока выполнены на нелинейных элементах,

согласованных по параметрам и совмещенных в одном кристалле.

Электрометрический преобразователь тока работает следующим образом.

Преобразуемый ток от источника 3 входного тока I поступает через фильтр 2 на инвертирующий вход входного операционного усилителя 1. При использовании входного операционного усилителя 1 и повторителей напряжения 8 с высоким входным сопротивлением весь преобразуемый ток протекает по цепи отрицательной обратной связи усилителя 1, образованной датчиками 4 тока и резистором 7. В первом диапазоне преобразования ( $0 \leq I \leq I_1$ ) датчик 4<sub>1</sub> тока является практически линейным, а во всех последующих диапазонах ( $n \geq 2$ ) ограничитель 6 в датчике 4<sub>1</sub> тока переходит в режим насыщения, благодаря чему резистор 5 не ограничивает ток обратной связи входного операционного усилителя. Аналогичным образом формируются входные напряжения на входах повторителей напряжения 8 в других диапазонах преобразования. Выходное напряжение  $U_n$  дифференциального усилителя 10 в диапазоне с номером n равно падению напряжения на соответствующем датчике 4 тока и при единичном значении коэффициента передачи дифференциального усилителя 10 составляет

$$U_n = (I - J(U_n, t_{6n})) \cdot R_{5n}, \quad (1)$$

где I - величина входного (преобразуемого) тока;

$t_{6n}$  - температура окружающей среды ограничителя 6<sub>n</sub> напряжения;

$R_{5n}$  - сопротивление резистора 5 в датчике 4<sub>n</sub> тока;

$J(U_n, t_{6n})$  - вольтамперная характеристика (ВАХ) ограничителя 6 напряжения в датчике 4<sub>n</sub> тока, описывающая его ток утечки в зависимости от напряжения и температуры окружающей среды.

Выходное напряжение в n-ом диапазоне связано с напряжением  $U_n$  на входе дифференциального усилителя 10<sub>n</sub> выражением

$$U_{\text{вых}n} = \left( \frac{U_n}{R16_n} - J'(U_n, t_{17n}) \right) \cdot R14_n \cdot K_{15n}, \quad (2)$$

где  $R14_n$ ,  $R16_n$  - сопротивления резисторов 14<sub>n</sub> и 16<sub>n</sub>;

$K_{15n}$  - коэффициент передачи масштабного усилителя 15<sub>n</sub>;

$J'(U_n, t_{17n})$  - ВАХ ограничителя 17<sub>n</sub> напряжения.

Если параметры датчика 4<sub>n</sub> тока и нелинейного преобразователя 11<sub>n</sub> при условии  $I \leq I_n$ , где  $I_n$  - максимальное значение тока, преобразуемого в n-ом диапазоне, соответствуют выражениям

$$\begin{cases} R_{5n} / R_{16n} = 1, \\ J(U_n, t_{6n}) / I \leq M_n, \\ J'(U_n, t_{17n}) / I \leq M_n, \\ \left| \frac{J'(U_n, t_{17n}) - J(U_n, t_{6n})}{J(U_n, t_{6n})} \right| \leq \delta J_n, \end{cases} \quad (3)$$

где  $M_n < 1$  - постоянная величина;

$\delta J_n$  - относительная погрешность согласования ВАХ ограничителей 6<sub>n</sub> и 17<sub>n</sub> напряжения, то выходное напряжение соответствующего нелинейного преобразователя составляет

$$U_{\text{ВЫХ}n} = I \cdot R14_n \cdot K_{15n} \cdot (1 \pm M_n \cdot \delta J_n). \quad (4)$$

Как следует из выражения (4), напряжение  $U_{\text{ВЫХ}n}$  зависит не от абсолютного значения тока утечки ограничителей напряжения 6<sub>n</sub> и 17<sub>n</sub>, а от погрешности согласования и функционального вида их ВАХ, благодаря чему в предлагаемом устройстве обеспечивается повышение точности преобразования входного тока в широком диапазоне рабочих температур.

Эффективность компенсации токов утечки ограничителей напряжения в предложенном устройстве можно оценить на конкретном примере. Так, если в качестве ограничителей 6<sub>1</sub> напряжения применяются два последовательно включенных p-n перехода, характеризующихся при температуре окружающей среды  $t_{0C} = 25^\circ\text{C}$  тепловым

током  $10^{-11}$  А, величина которого удваивается при увеличении температуры окружающей среды на каждые  $7,5^{\circ}\text{C}$ , а сопротивление резистора  $R_1$  составляет  $10^7$  Ом, то погрешность преобразования тока при  $n=1$  в диапазоне от 0 до  $10^{-8}$  А, обусловленная током утечки через ограничитель  $b_1$  напряжения при температуре  $t_{61}=25^{\circ}$ , составит около 0,25%, а при температуре  $t_{61}=65^{\circ}\text{C}$  около 5%. В случае применения в предлагаемом устройстве в качестве ограничителей напряжения  $b_1$  и  $17_1$  таких же диодов, ВАХ которых при температуре  $t_{0C}=25^{\circ}\text{C}$  согласованы с точностью до 0,003В, указанная составляющая погрешности преобразования тока при температурах  $t_{61}=t_{171}=25^{\circ}\text{C}$  и  $t_{61}=t_{171}=65^{\circ}\text{C}$  не превысит соответственно 0,07% и 1,0%. В диапазоне преобразуемого тока от 0 до  $10^{-7}$  А при  $n=2$  и при условии  $R_{52}=10^6$  Ом значения погрешности, обусловленной током утечки через ограничитель  $b_2$  напряжения, выполненный на одном р-п переходе, при тех же значениях температуры составляют около 0,1% и 2%. В случае применения в качестве ограничителей напряжения  $b_2$  и  $17_2$  диодов с согласованными ВАХ указанная составляющая погрешности преобразования тока не превысит значений соответственно 0,007% и 0,12%.

Таким образом, в предлагаемом электрометрическом преобразователе тока за счет введения в него нелинейных преобразователей с моделями датчиков тока, в которых ограничители напряжения согласованы по параметрам с датчиками тока соответствующих диапазонов, достигается повышение точности работы преобразователя в широком диапазоне рабочих температур.

#### Формула изобретения

1. Электрометрический преобразователь тока с N диапазонами преобразования, содержащий входной операционный усилитель, инвертирующий вход которого через фильтр подключен к источнику входного тока, цепь отрицательной обратной связи из N-1 последовательно соединенных датчиков тока, каждый из которых образован параллельно включенными резистором и ограничителем напряжения, причем вход первого датчика тока соединен с инвертирующим входом входного операционного усилителя, а выход (N-1)-го датчика тока через резистор с выходом входного операционного усилителя, N-1 повторителей напряжения, вход каждого из которых подключен к выходу соответствующего датчика тока, и N дифференциальных усилителей, неинвертирующий вход первого из которых подключен к шине нулевого потенциала, инвертирующий вход каждого предыдущего соединен с неинвертирующим входом каждого последующего и с выходом соответствующего повторителя напряжения, а инвертирующий вход N-го дифференциального усилителя, выход которого является информационным выходом для N-го диапазона, подключен к выходу входного операционного усилителя, отличающийся тем, что в него введены N-1 нелинейных преобразователей, каждый из которых содержит последовательно включенные модель датчика тока, операционный усилитель с резистором в цепи отрицательной обратной связи и масштабирующий усилитель, выход которого является информационным выходом для соответствующего диапазона преобразования, причем вход модели датчика тока в каждом нелинейном преобразователе, образованной параллельным соединением моделирующих резистора и ограничителя напряжения, подключен к выходу соответствующего дифференциального усилителя, а неинвертирующий вход операционного усилителя соединен с шиной нулевого потенциала.

2. Электрометрический преобразователь тока по п.1, отличающийся тем, что ограничители напряжения в датчиках тока и в соответствующим им моделях датчиков тока выполнены на нелинейных элементах, согласованных по параметрам и совмещенных в одном кристалле.

50