



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/02 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017114891, 26.04.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.04.2017

Дата регистрации:
13.06.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.04.2017

(45) Опубликовано: 13.06.2018 Бюл. № 17

Адрес для переписки:

442965, Пензенская обл., г. Заречный, проспект
Мира, 1, корп. 1, "НИКИРЭТ" - филиал АО
"ФНПЦ "ПО "Старт" им. М.В. Проценко",
Первунинских В.А.

(72) Автор(ы):

Рожков Александр Иванович (RU),
Иванов Владимир Эрстович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Федеральный
научно-производственный центр
"Производственное объединение "Старт"
имени М.В. Проценко" (АО "ФНПЦ "ПО
"Старт" им. М.В. Проценко") (RU)

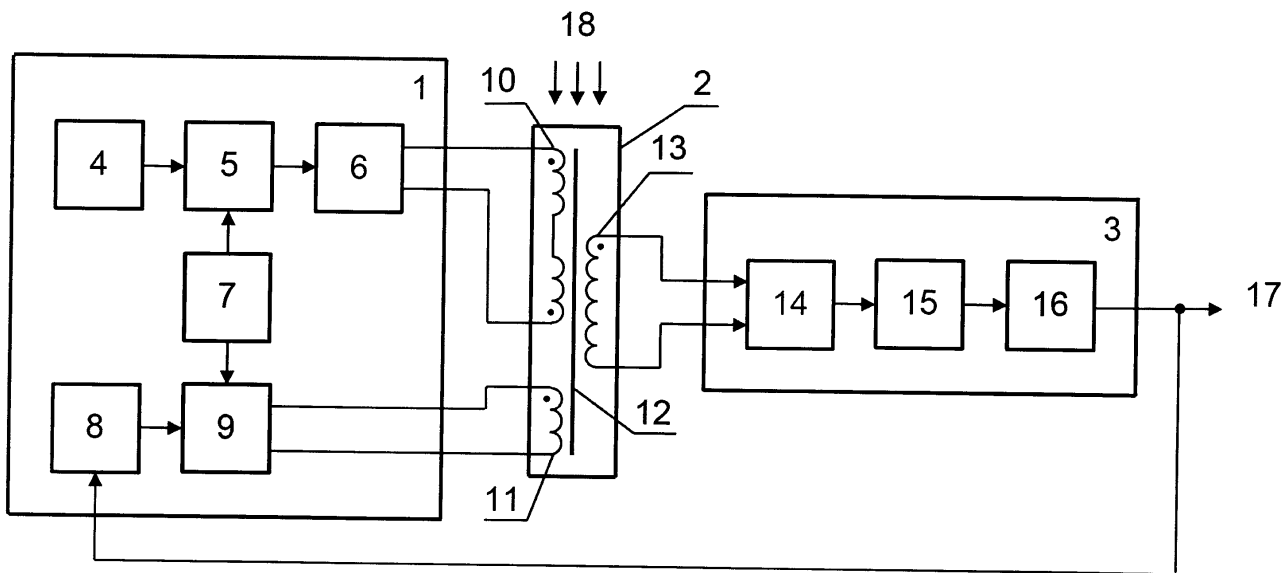
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2015048818 A1, 19.02.2015. SU
901951 A1, 30.01.1982. RU 2118831 C1,
10.09.1998. JP 2010107460 A, 13.05.2010.

(54) Магнитометрическое устройство с ферромодуляционным преобразователем

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для измерения и контроля индукции магнитного поля. Устройство состоит из модуля возбуждения, ферромодуляционного преобразователя и модуля считывания. В состав модуля возбуждения входят источник тока, фильтр нижних частот, модуль управления, первый и второй ключевые элементы, управляемый источник тока. В состав ферромодуляционного преобразователя входит

ферромагнитный сердечник с обмотками возбуждения, считывания и компенсации. В состав модуля считывания входят интегратор, усилитель и перестраиваемый фильтр. Устройство работает в импульсном режиме измеряемой величины, имеет малое энергопотребление и обеспечивает простоту технической реализации. Технический результат – расширение динамического диапазона измерения индукции магнитного поля. 3 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

RU 2657339 C1

RU 2657339 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 33/02 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017114891, 26.04.2017**

(24) Effective date for property rights:
26.04.2017

Registration date:
13.06.2018

Priority:

(22) Date of filing: **26.04.2017**

(45) Date of publication: **13.06.2018** Bull. № 17

Mail address:

**442965, Penzenskaya obl., g. Zarechnyj, prospekt
Mira, 1, korp. 1, "NIKIRET" - filial AO "FNPTS
"PO "Start" im. M.V. Protsenko", Pervuninskikh
V.A.**

(72) Inventor(s):

**Rozhkov Aleksandr Ivanovich (RU),
Ivanov Vladimir Eristovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aktsionernoe obshchestvo "Federalnyj
nauchno-proizvodstvennyj tsentr
"Proizvodstvennoe obedinenie "Start" imeni
M.V. Protsenko" (AO "FNPTS "PO "Start" im.
M.V. Protsenko") (RU)**

(54) **MAGNETOMETRIC DEVICE WITH A FERROMAGNETIC MODULATOR**

(57) Abstract:

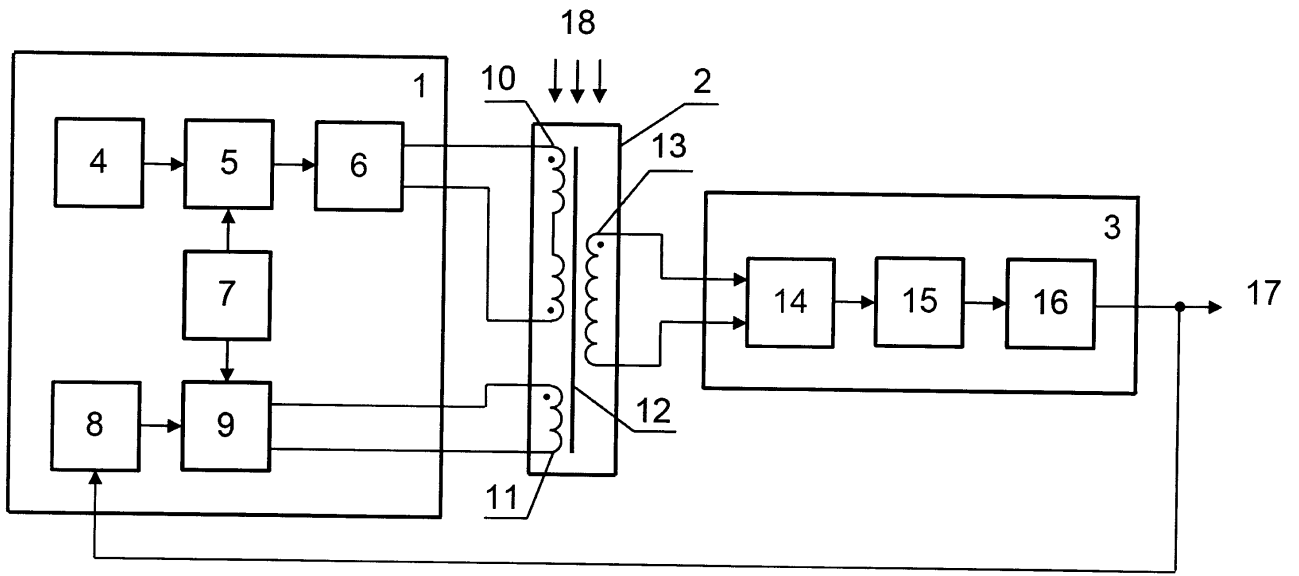
FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to a measuring technique and can be used to measure and control the induction of a magnetic field. Device consists of an excitation module, a ferromodulation transducer and a readout module. Excitation module consists of a current source, a low-pass filter, a control module, first and second key elements, and a controlled current source. Ferromodulation converter includes a ferromagnetic

core with excitation windings, readout and compensation. Reader module consists of an integrator, an amplifier and a tunable filter. Device operates in a pulsed mode of measured value, has low power consumption and provides simplicity of technical realization.

EFFECT: expansion of the dynamic range of measurement of magnetic field induction.

4 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2657339 C1

RU 2657339 C1

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для измерения и контроля индукции магнитного поля.

Для измерения индукции магнитного поля широко используются различного типа ферромодуляционные преобразователи. Для работы таких преобразователей
5 необходимы сигналы возбуждения. Традиционно ферромодуляционные преобразователи возбуждаются на основной частоте гармоническим сигналом, при этом на выходах обмотки считывания формируется ЭДС, амплитуда которой пропорциональна индукции внешнего магнитного поля. Недостатком многих ферромодуляционных преобразователей является большое энергопотребление, которое создает трудности
10 при разработке измерительных устройств, работающих автономно от химических источников тока. Уменьшить ток потребления можно за счет применения импульсного способа возбуждения, при этом ток потребления будет тем меньше, чем больше скважность импульсов возбуждения. Известны устройства, использующие принцип импульсного способа возбуждения.

К таким устройствам можно отнести, например, «Устройство для измерения величины и направления внешних магнитных полей», описанное в патенте SU №974308, МПК G01R 33/02, опубл. 1982 г. и содержащее феррозонд с двумя разомкнутыми сердечниками, блок питания, содержащий два тиристора, конденсатор, три диода и два резистора, и регистрирующее устройство. На концах каждого сердечника намотаны две согласно-
20 последовательно включенные обмотки возбуждения и встречно-последовательно соединенные рабочие обмотки (обмотки считывания). Устройство работает на частоте переменного тока 50 Гц и формирует на обмотке считывания разность ЭДС со знаком направления внешнего магнитного поля.

Сходными существенными признаками заявленного и вышеупомянутого устройства
25 являются: феррозонд с обмотками возбуждения и считывания, модуль управления, блок питания (схема управления) и регистрирующее устройство.

Недостатком устройства является ограниченный динамический диапазон измеряемой величины.

В качестве магнитометрического устройства с импульсным способом возбуждения
30 можно привести устройство, описанное в патенте «Магнитометр, работающий с очень малой входной мощностью» (Magnetometer capable of operating with a very low input power), патент US №3541432, МПК G01R 33/02, опубл. в 1970 г. Данное устройство состоит из магнитного чувствительного элемента, источника импульсного тока, интегратора и пикового детектора. В состав магнитного чувствительного элемента входят сердечник,
35 первая и вторая входные обмотки (обмотки возбуждения), соединенные встречно-последовательно, а также первая и вторая выходные обмотки (обмотки считывания), соединенные согласно-последовательно. Магнитный чувствительный элемент выполнен в виде специальной конструкции с винтообразным сердечником. Магнитометр обеспечивает измерение приложенного внешнего магнитного поля и может работать
40 в импульсном режиме с очень малой мощностью входного сигнала.

Сходными существенными признаками данного и заявленного устройства являются: магнитный чувствительный элемент с обмотками возбуждения и считывания, источник импульсного тока и интегратор.

Недостатком устройства является ограниченный динамический диапазона измеряемой
45 величины.

Известно «Устройство для измерения напряженности магнитного поля», описанное в патенте SU №815690, МПК G01R 33/02, опубл. 1981 г. и содержащее управляемый источник тока, ключ, генератор прямоугольных импульсов, феррозонд, интегратор,

усилитель, пороговый блок, реверсивный счетчик импульсов, цифроаналоговый преобразователь, логический элемент И-НЕ и измерительный прибор. Работа устройства основана на автоматическом регулировании амплитуды импульсного компенсирующего поля, определяемого установленным пороговым значением. Устройство имеет

5 повышенный ток потребления из-за необходимости постоянного подмагничивания сердечника феррозонда до насыщения.

Сходными существенными признаками заявленного и вышеупомянутого устройства являются: управляемый источник тока, ключ, феррозонд, интегратор и усилитель.

Недостатком устройства является ограниченный динамический диапазон измеряемой

10 величины из-за установленного порогового значения в пороговом блоке, что не дает возможности реагировать на малые изменения магнитного поля.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному изобретению является устройство, описанное в патенте «Встроенный индукционный магнитный датчик и схема возбуждения» (Integrated fluxgate magnetic sensor and excitation circuitry), патент US

15 №2015/0048818, МПК G01R 33/00, опубл. 2015 г. Устройство, описанное в патенте, содержит схему возбуждения, феррозондовый магнитный датчик (ферромодуляционный преобразователь) и схему считывания. Схема возбуждения содержит источник тока, фильтр, схему управления и двунаправленный ключевой модуль на основе токового зеркала. Ферромодуляционный преобразователь содержит сердечник с зазором, обмотку

20 возбуждения с встречно-последовательными секциями и обмотку считывания, причем обмотка возбуждения выполнена посредством соединения секций с помощью мостовой схемы. Схема считывания содержит интегратор. Данное устройство работает в импульсном режиме, имеет малый ток потребления и обеспечивает измерение приложенного внешнего магнитного поля в определенных диапазонах.

Общими существенными признаками с заявляемым решением являются: схема

25 (модуль) возбуждения, содержащая источник тока, фильтр и схему (модуль) управления; ферромодуляционный преобразователь, в состав которого входят сердечник, обмотка возбуждения с встречно-последовательными секциями и обмотка считывания; а также схема (модуль) считывания с интегратором.

Недостатком устройства является ограниченный динамический диапазон измеряемой

30 величины. При ограниченном динамическом диапазоне определенная ориентация ферромодуляционного преобразователя в магнитном поле Земли может приводить к насыщению магнитного сердечника данного преобразователя, в результате чего он перестанет реагировать на малые изменения магнитного поля.

Целью настоящего изобретения является расширение динамического диапазона измерения индукции магнитного поля.

Для достижения этой цели в известное техническое решение введены новые существенные признаки, функциональные элементы и связи.

Эта цель достигнута в предложенном магнитометрическом устройстве с

40 ферромодуляционным преобразователем, которое содержит: модуль возбуждения, в состав которого входят источник тока, фильтр нижних частот (ФНЧ) и модуль управления; ферромодуляционный преобразователь, в состав которого входят ферромагнитный сердечник, обмотка возбуждения с встречно-последовательными секциями и обмотка считывания; модуль считывания, в состав которого входит

45 интегратор, в состав модуля возбуждения дополнительно введены первый и второй ключевые элементы и управляемый источник тока, причем выход управляемого источника тока подключен к первому входу второго ключевого элемента, второй вход которого подключен к первому выходу модуля управления, первый вход первого

ключевого элемента подключен к выходу источника тока, второй его вход подключен к второму выходу модуля управления, а его выход подключен к входу ФНЧ, в состав ферромодуляционного преобразователя дополнительно введена обмотка компенсации, в состав модуля считывания дополнительно введены усилитель и перестраиваемый
 5 фильтр, причем первый и второй входы усилителя подключены к обмотке считывания ферромодуляционного преобразователя, а его выход подключен к входу перестраиваемого фильтра, выход которого подключен к входу интегратора, выход которого подключен к входу управляемого источника тока, первый и второй выходы ФНЧ подключены к обмотке возбуждения ферромодуляционного преобразователя,
 10 первый и второй выходы второго ключевого элемента подключены к обмотке компенсации ферромодуляционного преобразователя. Перестраиваемый фильтр выполнен с возможностью функционирования в виде фильтра нижних частот, или медианного фильтра, или с возможностью совмещения функций того и другого.

Сущность изобретения поясняется фиг. 1-3, на которых изображено следующее.

15 На фиг. 1 приведена структурная схема предлагаемого устройства, где введены обозначения: модуль возбуждения - 1, ферромодуляционный преобразователь - 2, модуль считывания - 3, источник тока - 4, первый ключевой элемент - 5, ФНЧ - 6, модуль управления - 7, управляемый источник тока - 8, второй ключевой элемент - 9, обмотка возбуждения - 10, обмотка компенсации - 11, ферромагнитный сердечник - 12, обмотка
 20 считывания - 13, усилитель - 14, перестраиваемый фильтр - 15, интегратор - 16, выход устройства - 17, внешнее магнитное поле - 18.

На фиг. 2 приведены временные диаграммы работы устройства, где дополнительно к фиг. 1 введены обозначения: логический сигнал включения тока возбуждения - 19 со второго выхода модуля управления 7 (на втором входе первого ключевого элемента
 25 5), логический сигнал включения тока компенсации - 20 с первого выхода модуля управления 7 (на втором входе второго ключевого элемента 9), эпюра напряжения на обмотке компенсации - 21, эпюра изменения тока в обмотке возбуждения - 22, эпюра изменения тока в обмотке считывания - 23.

На фиг. 3 приведена функциональная схема примерного варианта реализации предлагаемого устройства, выполненного с использованием элементной базы с высокой
 30 степенью интеграции.

Предложенное устройство (фиг. 1-2) работает следующим образом.

Устройство состоит из трех частей - модуля возбуждения 1, ферромодуляционного преобразователя 2 и модуля считывания 3. Ферромодуляционный преобразователь 2
 35 состоит из одного или двух стержней, выполненных из намагничиваемого материала и являющихся чувствительными элементами, и содержит три обмотки: обмотку возбуждения 10 с встречно-последовательными секциями, обмотку компенсации 11 и обмотку считывания 13. Модуль управления 7 формирует логические сигналы включения токов возбуждения (эпюра 19 на фиг. 2) и компенсации (эпюра 20 на фиг. 2), которые
 40 повторяются с периодом следования T . Логический сигнал включения тока компенсации поступает на второй (управляющий) вход второго ключевого элемента 9, к первому (информационному) входу которого подключен выход управляемого источника тока 8, формирующего ток компенсации. В интервалы времени $(t_{a1}-t_{c1})$, $(t_{a2}-t_{a2})$, повторяющиеся с периодом T на фиг. 2, ток компенсации определенной величины
 45 проходит через второй открытый ключевой элемент 9 и поступает в обмотку компенсации 11. Эпюра 21 напряжения на обмотке компенсации изображена на фиг. 2. Под воздействием этого импульсного тока ферромагнитный сердечник 12 перемагничивается, устраняя при этом остаточное (фоновое) магнитное поле, и

подготавливается непосредственно к процессу измерения индукции внешнего магнитного поля 18, которое происходит в интервалы времени $(t_{b1}-t_{c1})$, $(t_{d2}-t_{a2})$ на фиг. 2. В течение этих интервалов времени ток возбуждения с выхода источника тока 4 проходит через открытый первый ключевой элемент 5 и через ФНЧ 6 и далее поступает в обмотку возбуждения 10. Эпюра 22 изменения тока в обмотке возбуждения изображена на фиг. 2. ФНЧ 6 ограничивает скорость нарастания тока возбуждения, что в свою очередь устраняет паразитные резонансные высокочастотные возмущения ферромодуляционного преобразователя. В результате воздействия на ферромагнитный сердечник 12 токов компенсации и возбуждения, а также внешнего магнитного поля, в обмотке считывания 13 будет возникать ЭДС, пропорциональная разности индукций внешнего магнитного поля 18 и поля, наведенного в обмотке компенсации. Изменения напряжения ЭДС (сигналы считывания на выходах обмотки считывания 13) показаны на эпюре 23 фиг. 2. В модуле считывания 3 сигналы считывания поступают на усилитель 14 и далее через перестраиваемый фильтр 15 и интегратор 16 - на выход устройства 17. Расширение динамического диапазона измерения индукции магнитного поля происходит за счет компенсации индукции внешнего магнитного поля, приводящей в насыщение ферромагнитный сердечник 12 ферромодуляционного преобразователя. Смысл компенсации внешнего магнитного поля заключается в том, чтобы чувствительный элемент ферромагнитного сердечника 12 в момент измерения был не в насыщении, а усилитель 14 находился в заданной рабочей точке. Этот процесс обеспечивается путем формирования внутреннего поля, создаваемого током в обмотке компенсации. Обратная связь с выхода интегратора 16 схемы считывания 3 на вход управляемого источника тока 8 позволяет обеспечить необходимый уровень тока для оптимальной компенсации, который обеспечивается управляемым источником 8. Перестраиваемый фильтр 15 выполнен с возможностью функционирования в виде фильтра нижних частот, или медианного фильтра, или с возможностью совмещения функций того и другого. Обычно в магнитометрических устройствах применяют фильтры нижних частот для устранения высокочастотных наводок и помех. Необходимость использования медианного фильтра вызвана распространением мобильных средств связи, вызывающих мощные импульсные наводки. При необходимости, использование медианного фильтра позволит исключить одиночные мощные выбросы в тракте измерения индукции магнитного поля.

Устройство работает в импульсном режиме измеряемой величины. В дополнение к расширению динамического диапазона измерения индукции магнитного поля предлагаемое устройство может обладать сверхнизким энергопотреблением. Для обеспечения такого энергопотребления и возможности долговременной работы от химических источников тока (батарей) устройство может выполнять свою функцию при импульсном режиме с неограниченно большой скважностью. В примере реализации устройства, приведенного на фиг. 3, обеспечиваются следующие параметры: длительность импульса компенсации 80 мкс, длительность импульса возмущения 10 мкс, период следования импульсов T равен 10 мс.

Пример реализации устройства (фиг. 3) обеспечивает простоту технической реализации и состоит из двух основных компонентов: датчика индукции магнитного поля НВ0391.2-35 производства ООО «НПО ЭНТ» (Отделение средств магнитометрии, г. С.-Петербург), который выполняет функцию ферромодуляционного преобразователя 2, и микроконтроллера EFM32TG822F8 фирмы «Energy Micro AS». ФНЧ 6 в простейшем случае состоит из резистора R3 и конденсатора C1. Усилитель 14 состоит из операционного усилителя и резисторов R1 и R2, которые размещены внутри контроллера. Резистор R4 является принадлежностью второго ключевого элемента 9

и выполняет функцию токоограничивающего резистора обмотки компенсации 11. Элементы 4, 5, 7, 8, 9, 15 и 16 устройства, приведенные на фиг. 1, в примере устройства на фиг. 3 реализованы с помощью внутренних компонентов микроконтроллера и функционируют под управлением программы, зашитой в памяти (Flash Memory)

5 микроконтроллера.

Датчик НВ0391.2-35 по классической схеме возбуждения требует обеспечить ток возбуждения не менее 5 мА и ток, необходимый для компенсации магнитного поля Земли, - до 5 мА. Используя импульсный способ возбуждения датчика, можно значительно снизить энергопотребление устройства. Пример реализации устройства (фиг. 3), работающего в полосе частот от 0,01 Гц до 5 Гц и имеющего вышеописанную

10

структуру сигналов (фиг. 2), потребляет не более 0,15 мА. Таким образом, устройство, собранное по традиционной классической схеме, от стандартной батареи емкостью, например, 2000 мА/ч проработает около 10 суток, в то время как пример реализации устройства (фиг. 3) проработает около 500 суток (более полутора лет).

15

Введенные в известное устройство дополнительные признаки и функциональные связи позволяют придать предлагаемому устройству новые существенные свойства.

(57) Формула изобретения

1. Магнитометрическое устройство с ферромодуляционным преобразователем, содержащее: модуль возбуждения, в состав которого входят источник тока, фильтр нижних частот (ФНЧ) и модуль управления; ферромодуляционный преобразователь, в состав которого входят ферромагнитный сердечник, обмотка возбуждения с встречно-последовательными секциями и обмотка считывания; модуль считывания, в состав которого входит интегратор, выход которого является выходом устройства, отличающееся тем, что в состав модуля возбуждения дополнительно введены первый и второй ключевые элементы и управляемый источник тока, причем выход управляемого источника тока подключен к первому входу второго ключевого элемента, второй вход которого подключен к первому выходу модуля управления, первый вход первого ключевого элемента подключен к выходу источника тока, второй его вход подключен к второму выходу модуля управления, а его выход подключен к входу ФНЧ, в состав ферромодуляционного преобразователя дополнительно введена обмотка компенсации, в состав модуля считывания дополнительно введены усилитель и перестраиваемый фильтр, причем первый и второй входы усилителя подключены к обмотке считывания ферромодуляционного преобразователя, а его выход подключен к входу перестраиваемого фильтра, выход которого подключен к входу интегратора, выход которого подключен к входу управляемого источника тока, первый и второй выходы ФНЧ подключены к обмотке возбуждения ферромодуляционного преобразователя, первый и второй выходы второго ключевого элемента подключены к обмотке компенсации ферромодуляционного преобразователя.

20

25

30

35

2. Магнитометрическое устройство с ферромодуляционным преобразователем по п. 1, отличающееся тем, что перестраиваемый фильтр выполнен с возможностью функционирования в виде фильтра нижних частот.

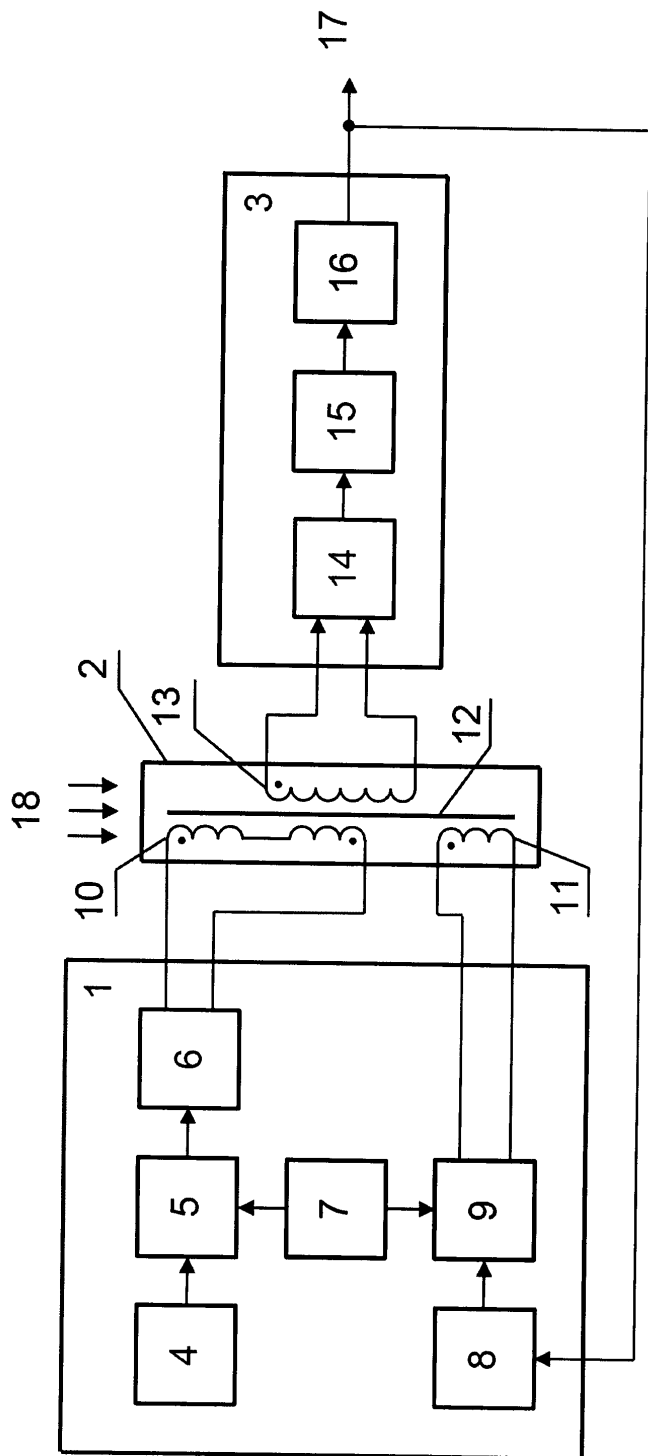
40

3. Магнитометрическое устройство с ферромодуляционным преобразователем по п. 1, отличающееся тем, что перестраиваемый фильтр выполнен с возможностью функционирования в виде медианного фильтра.

45

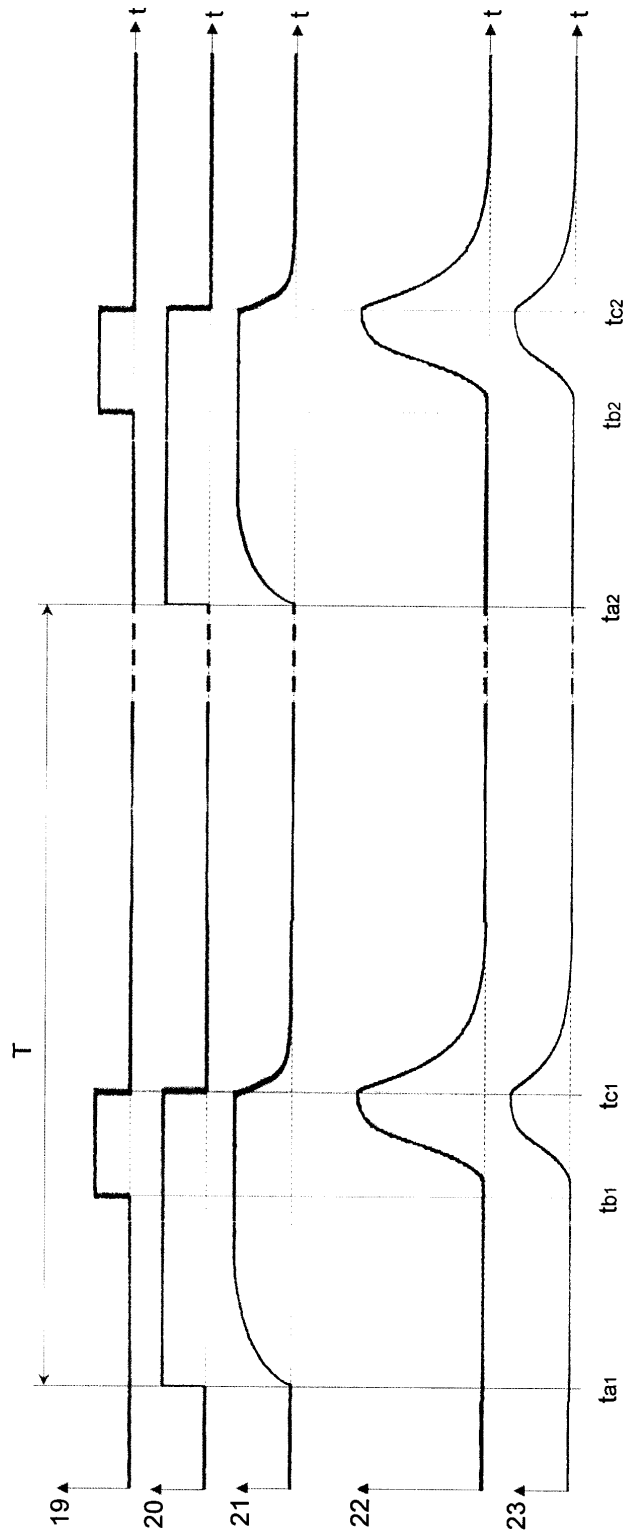
4. Магнитометрическое устройство с ферромодуляционным преобразователем по п. 1, отличающееся тем, что перестраиваемый фильтр выполнен с возможностью совмещения функций фильтра нижних частот и медианного фильтра.

Магнитометрическое устройство
с ферромодуляционным преобразователем



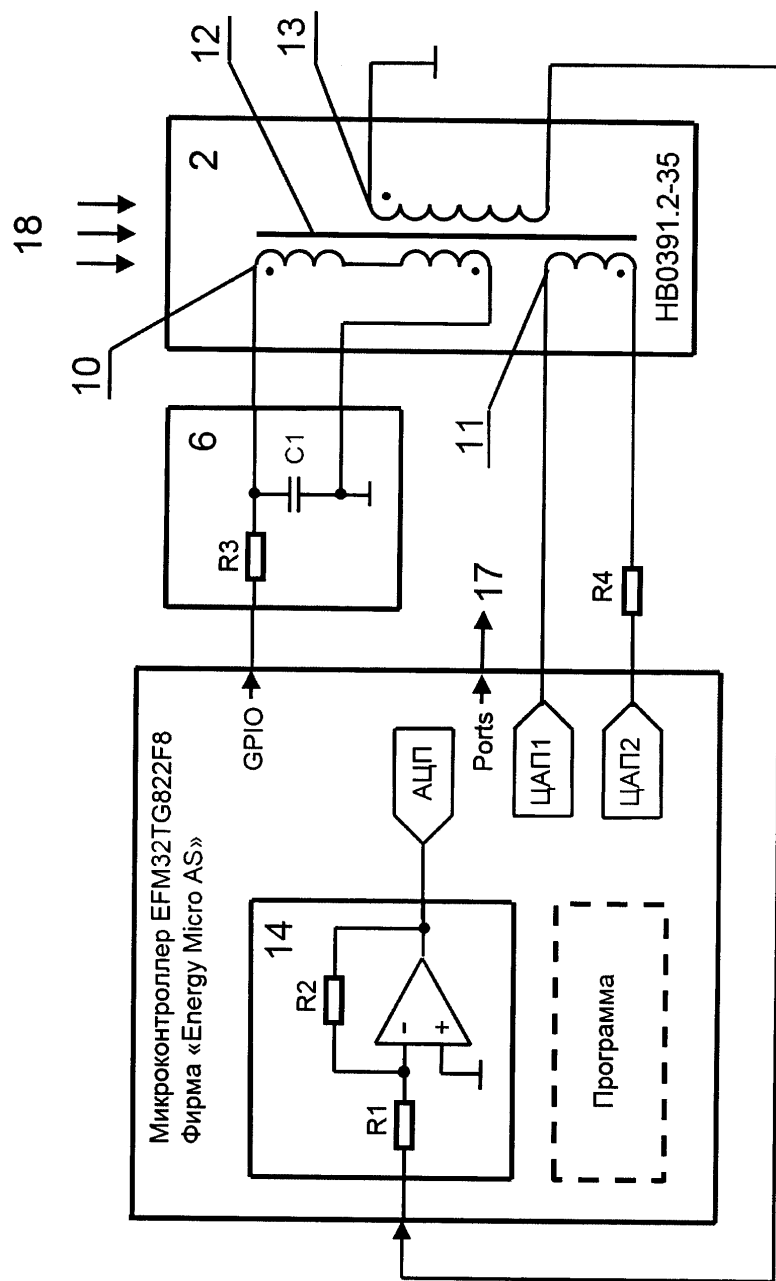
Фиг. 1

Магнитометрическое устройство
с ферромодуляционным преобразователем



Фиг. 2

Магнитомеретрическое устройство
с ферромодуляционным преобразователем



Фиг. 3