(19) **RU** (11) **1 757 307** (13) **C**

(51) МПК[6] **G 01 V 3/08**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 4811080/25, 06.04.1990

(46) Дата публикации: 10.07.1996

(56) Ссылки: **Семенов Н.М., Яковлев Н.И. Цифровые феррозондовые магнитометры.** - Л.: **Энергия, 1978, с.10,97. Заявка PCT N 85/02912, кл. G 01R 33/04, 1985.**

(71) Заявитель:
Научно-производственное объединение "Рудгеофизика"

(72) Изобретатель: **Баринов Е.А., Богданович А.И., Попов А.А.**

(73) Патентообладатель:
Всероссийский научно-исследовательский институт разведочной геофизики "Рудгеофизика"

(54) ФЕРРОЗОНДОВЫЙ МАГНИТОМЕТР

(57)

Феррозондовый магнитометр, содержащий генератор возбуждения, включающий формирователь напряжения треугольной формы, одноэлементный феррозонд, формирователь временных интервалов, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и расширения диапазона измерений, он содержит делитель частоты, фазосдвигающую цепь, дифференцирующую цепь, резонансный контур, усилитель, аналоговый инвертор, цифровой инвертор, синхронный детектор, интегратор, резистор обратной связи, при этом в состав генератора возбуждения входят задающий генератор, второй делитель частоты и формирователь напряжения треугольной формы, включенные последовательно, причем обмотка одноэлементного феррозонда соединена с входом формирователя временных интервалов через дифференцирующую цепь, соединена с выходом формирователя напряжения треугольной формы через фазосдвигающую цепь, соединена с выходом интегратора через резистор обратной связи, выход формирователя временных интервалов соединен с входом усилителя через резонансный контур, выход усилителя соединен с сигнальными входами синхронного детектора непосредственно и через аналоговый инвертор, выход задающего генератора соединен с входом делителя частоты, выход которого соединен с управляющими входами синхронного детектора непосредственно и через цифровой инвертор, выход синхронного детектора соединен с входом интегратора, выход которого является выходом устройства.

RU 1757307 C

RU 1757307 C

(19) **RU** (11) **1 757 307** (13) **C**

(51) Int. Cl.[6] **G 01 V 3/08**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **4811080/25, 06.04.1990**

(46) Date of publication: **10.07.1996**

(71) Applicant:
Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie "Rudgeofizika"

(72) Inventor: **Barinov E.A., Bogdanovich A.I., Popov A.A.**

(73) Proprietor:
Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut razvedochnoj geofiziki "Rudgeofizika"

(54) FLUXGATE MAGNETOMETER

(57) Abstract:

FIELD: measurement technology. SUBSTANCE: fluxgate magnetometer has excitation generator incorporating former of triangular voltage, single-element ferroprobe, former of time intervals, frequency divider, phase-shift circuit, differentiation circuit, resonance circuit, amplifier, analog inverter, digital inverter, synchronous detector, integrator, feedback resistor. Excitation generator includes master generator, second frequency divider and former of triangular voltage connected in series. Winding of single-element ferroprobe is connected to input of former of time intervals through differentiation circuit, to output of former of triangular voltage through phase-shift circuit, to output of integrator feedback resistor. Output of former of time intervals is connected to input amplifier through resonance circuit. Output of amplifier is connected to signal inputs of synchronous detector directly and through analog inverter. Output of master generator is connected to input of frequency divider which output is connected to controlling inputs of synchronous detector and through digital inverter. Output of synchronous detector is connected to input of integrator which output is output of magnetometer. EFFECT: increased accuracy and expanded measurement range.

RU 1757307 C

RU 1757307 C

Устройство предназначено для измерения магнитной индукции постоянных и низкочастотных полей. Оно может быть использовано при проведении геофизических исследований, разведке полезных ископаемых и в других случаях, когда требуется измерение слабых магнитных полей.

В практике магнитных измерений наибольшее распространение получили дифференциальные и одноэлементные феррозонды. В высокочувствительных магнитометрах наибольшее применение находят дифференциальные феррозонды с выходом на четных гармониках, главным образом на второй. Недостатком дифференциальных феррозондов является сложность их конструкции, что не позволяет создать малогабаритный магнитометр, способный работать, например, в геологоразведочной скважине. От этого недостатка свободен одноэлементный феррозонд. В магнитометре с одноэлементным феррозондом в качестве параметров, несущих информацию об измеряемом поле, могут быть использованы амплитуды четных гармоник сигнала, а также временной или фазовый сдвиги импульсов в измерительной обмотке феррозонда.

Коэффициент преобразования одноэлементного феррозонда с выходом на второй гармонике может быть всего лишь вдвое ниже коэффициента преобразования аналогичного дифференциального феррозонда. Однако высокий уровень содержания нечетных гармоник затрудняет использование одноэлементного феррозонда в высокочувствительных магнитометрах с выходом на второй гармонике. Выделение слабого сигнала второй гармоники на фоне нечетных гармоник связано с применением сложных избирательных усилителей (Семенов Н.М. Яковлев Н.И. Цифровые феррозондовые магнитометры. Л. Энергия, 1978, с.10).

Известен магнитометр с одноэлементным феррозондом, содержащий генератор возбуждения, формирователь временных интервалов, детектор скважности, генератор счетных импульсов, схему совпадения и реверсивный счетчик (там же, с. 97).

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является магнитометр с временным способом выделения полезного сигнала, содержащий последовательно соединенные генератор возбуждения, состоящий из генератора напряжения треугольной формы и преобразователя напряжение-ток, формирователь временных интервалов, состоящий из дифференциального усилителя и триггера Шмитта, и одноэлементный феррозонд с одной обмоткой, которая подключена к общей точке генератора возбуждения и формирователя временных интервалов (международная заявка N 85/02912, опублик. 04.07.85, МКИ G 01 R 33/04). Этот магнитометр принят за прототип.

Отличительными особенностями магнитометра являются использование одной и той же обмотки феррозонда для создания поля возбуждения и измерительного сигнала; использование тока возбуждения феррозонда треугольной формы; использование дифференциального усилителя, один вход которого подключен к выходу генератора напряжения треугольной формы, а другой к обмотке феррозонда; использование триггера Шмитта в качестве формирователя импульсов прямоугольной формы.

Работа магнитометра основана на формировании из полуволн выходного сигнала феррозонда прямоугольных импульсов с последующим изменением длительности $\Delta t = T' - T''$, где T' и T'' длительность полуволн выходного сигнала феррозонда.

Цель изобретения повышение точности и расширение диапазона измерений.

Указанная цель достигается тем, что в магнитометр, содержащий генератор возбуждения, включающий формирователь напряжения треугольной формы, одноэлементный феррозонд и формирователь временных интервалов, дополнительно введены делитель частоты, фазосдвигающая цепь, дифференцирующая цепь, резонансный контур, усилитель, аналоговый инвертор, цифровой инвертор, синхронный детектор, интегратор, резистор обратной связи, при этом в состав генератора возбуждения входят задающий генератор, второй делитель частоты и формирователь напряжения треугольной формы, включенные последовательно, причем обмотка одноэлементного феррозонда соединена с входом формирователя временных интервалов через дифференцирующую цепь, соединена с выходом формирователя напряжения треугольной формы через фазосдвигающую цепь, соединена с выходом интегратора через резистор обратной связи, выход формирователя временных интервалов соединен с входом усилителя через резонансный контур, выход усилителя соединен с сигнальными входами синхронного детектора непосредственно и через аналоговый инвертор, выход задающего генератора соединен с входом делителя частоты, выход которого соединен с управляющими входами синхронного детектора непосредственно и через цифровой инвертор, выход синхронного детектора соединен с входом интегратора, выход которого является выходом устройства.

Введение в схему магнитометра резонансного контура, настроенного на частоту, кратную частоте тока возбуждения феррозонда, и возбуждаемого формирователем временных интервалов, в сочетании с синхронным детектором позволило эффективно решить задачу преобразования временного интервала в ток, что, в свою очередь, дало возможность построить измерительную цепь магнитометра по автокомпенсационной схеме, обеспечивающей при сохранении высокой чувствительности расширение диапазона измерения и снижение погрешности, обусловленной нелинейностью коэффициента преобразования феррозонда.

На фиг. 1 изображена схема магнитометра; на фиг. 2 диаграммы, поясняющие принцип работы магнитометра.

Магнитометр состоит из генератора 1, двух делителей частоты 2 и 3, формирователя 4 напряжения треугольной формы, фазосдвигаюшей цепи 5, одноэлементного феррозонда 6, дифференцирующей цепи 7, формирователя

RU 1757307 C

RU 1757307 C

8 временных интервалов, резонансного контура 9, усилителя 10, аналогового инвертора 11, цифрового инвертора 12, синхронного детектора 13, интегратора 14, состоящего из операционного усилителя 15 и конденсатора 16, включенного между выходом операционного усилителя и его инвертирующим входом, и резистора 17 обратной связи, включенного между выходом интегратора 14 и обмоткой феррозонда 6. Сигнальные входы синхронного детектора 13 соединены с выходом усилителя 10 и аналогового инвертора 11, а управляющие входы с выходами делителя 3 частоты и цифрового инвертора 12. Выход делителя 2 частоты соединен с входом формирователя 4 напряжения треугольной формы, выход которого через фазосдвигающую цепь 5 подключен к обмотке феррозонда 6. Феррозонд 6 имеет один сердечник и одну обмотку, которая выполняет функции возбуждения, измерения и компенсации.

Для нормальной работы синхронного детектора необходимо, чтобы на всех его входах были сигналы одинаковой частоты. Это достигается за счет выбора соответствующих коэффициентов деления делителей частоты 2 и 3 и частоты настройки контура 9. Они должны удовлетворять следующим условиям:

$K_2\ f_o/f_в;\ f_к\ n \bullet f_в;\ к_3\ f_o/f_к$,

где K_2 коэффициент деления делителя 2 частоты;

f_o частота генерации генератора 1;

$f_в$ частота тока возбуждения феррозонда 6;

$f_к$ резонансная частота контура 9;

n натуральное число;

K_3 коэффициент деления делителя 3 частоты.

Наличие делителя 2 частоты позволяет получить ток возбуждения феррозонда 6 со строго равными полупериодами.

Резонансный контур 9 должен быть настроен на частоту, кратную частоте тока возбуждения феррозонда 6. Конкретное значение резонансной частоты контура зависит от его добротности и должно быть в 10-15 раз выше частоты тока возбуждения феррозонда 6.

Коэффициент деления частоты делителя 3 должен быть таким, чтобы частота следования импульсов на его выходе была равна резонансной частоте контура 9 ударного возбуждения.

Делитель 3 частоты и инвертор 12 формируют два противофазных сигнала коммутации для синхронного детектора 13. Усилитель 10 и инвертор 11 формируют два противофазных информационных сигнала для синхронного детектора 13.

Работа магнитометра поясняется диаграммами, изображенными на фиг. 2. Диаграммы построены для статического режима работы.

Прямоугольные импульсы с выхода делителя 2 частоты, имеющие частоту следования $f_в$ и строго равные по длительности полупериоды (диаграмма 1), поступают на вход формирователя 4 треугольного напряжения, который может быть выполнен, например, на базе интегратора с операционным усилителем. Форма напряжения на выходе формирователя 4 показана на диаграмме 2. Треугольная форма волны поля возбуждения обеспечивает высокую стабильность нулевого уровня и повышенную точность измерения. Фазосдвигающая цепь 5 позволяет установить оптимальный ток возбуждения феррозонда 6 и фазу полезного сигнала на его обмотке. Под действием поля возбуждения сердечник феррозонда 6 перемагничивается до насыщения и при отсутствии измеряемого поля или в установившемся режиме компенсации форма сигнала на его обмотке будет симметричной (диаграмма 3). Подмагничивающее измеряемое поле смещает рабочую точку сердечника феррозонда 6 таким образом, что его перемагничивание в одном полупериоде ускоряется, а в другом задерживается, и симметричность сигнала на обмотке феррозонда нарушается.

Сигнал с обмотки феррозонда 6 через дифференцирующую цепь 7 поступает на вход формирователя 8 временных интервалов. Благодаря дифференцированию сигнала улучшаются условия работы формирователя 8, так как он переключается в моменты изменения направления тока, которые совпадают по времени с максимумами напряжения на обмотке феррозонда 6, но имеют большую крутизну фронта. На диаграмме 4 показана форма напряжения на выходе формирователя временных интервалов.

К выходу формирователя 8 подключен контур 9, настроенный на частоту, кратную частоте тока возбуждения феррозонда 6. При переходе формирователя 8 из одного состояния в другое контур 9 ударно возбуждается, и в нем возникают затухающие колебания, которые усиливаются усилителем 10 (диаграмма 5) и инвертируются повторителем (диаграмма 6). Эти два противофазных сигнала подаются на информационные входы двухтактного синхронного детектора 13.

Управляющие сигналы для синхронного детектора 13, формируемые с помощью делителя 3 частоты и инвертора 12, показаны на диаграммах 7 и 8 соответственно. Форма сигнала на выходе синхронного детектора показана на диаграмме 9.

Импульсы тока с выхода синхронного детектора 13 сглаживаются активным интегратором 14, состоящим из операционного усилителя 15 с высокоомным входом, в цепь обратной связи которого включен конденсатор 16 с малым током утечки. Постоянный ток с выхода интегратора 14 через резистор 17 обратной связи поступает в обмотку феррозонда 6, создавая в ней поле обратной связи, направленное встречно измеряемому полю H_o. Благодаря использованию интегратора 14 на операционном усилителе 15 в статическом режиме погрешность компенсации не зависит от диапазона измерения, так как входной ток операционного усилителя 15 и ток утечки конденсатора 16 пренебрежимо малы.

Выходным сигналом магнитометра могут быть ток обратной связи $I_{o.c}$ или напряжение на выходе интегратора 14 $U_{вых}=I_{o.c} \bullet R_{o.c}$, где $R_{o.c}$ сопротивление резистора 17 обратной связи.

Резонансная частота контура 9 выбирается из следующих соображений. С

RU 1757307 C

RU 1757307 C

точки зрения преобразования временного интервала Δt в постоянный ток выгодно увеличивать отношение $f_к/f_в$. Однако при этом падает амплитуда колебаний и требуется соответствующее увеличение коэффициента усиления усилителя 10. Экспериментально установлено, что оптимальные результаты получаются, если резонансная частота $f_к$ контура 9 в 10-15 раз выше частоты $f_в$ тока возбуждения феррозонда 6.

Чувствительность известных время-импульсных магнитометров с одноэлементным феррозондом не превышает 100 нТл, что обусловлено недостаточной разрешающей способностью схем формирования и измерения временного интервала, а диапазон измерения (H_0 макс/H_0мин) меньше 10^3-10^4 из-за нелинейности коэффициента преобразования феррозонда.

Интегратор, содержащий операционный усилитель с конденсатором в цепи обратной связи, включенный между выходом синхронного детектора и обмоткой феррозонда, увеличивает коэффициент передачи цепи обратной связи, что ведет к существенному расширению динамического диапазона и к увеличению линейности характеристики преобразования магнитометра.

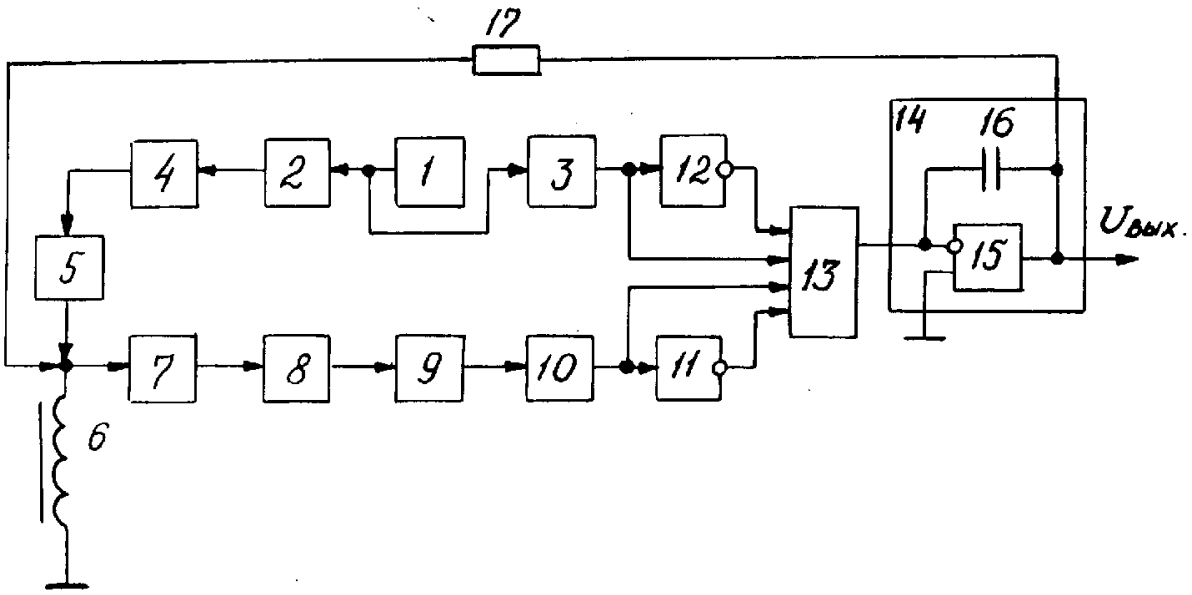
На макете автокомпенсационного время-импульсного магнитометра с одноэлементным феррозондом, выполненного по предлагаемой схеме, была достигнута отсчетная точность 10 нТл в диапазоне + 200 мкТл.

Формула изобретения:

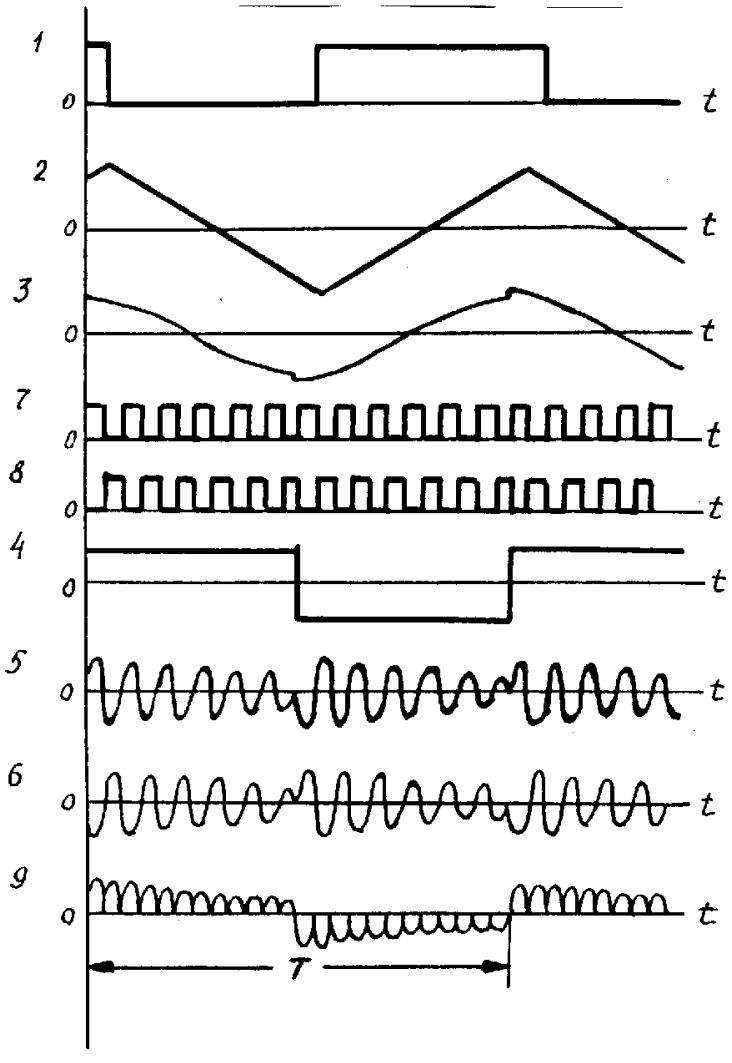
Феррозондовый магнитометр, содержащий генератор возбуждения, включающий формирователь напряжения треугольной формы, одноэлементный феррозонд, формирователь временных интервалов, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и расширения диапазона измерений, он содержит делитель частоты, фазосдвигающую цепь, дифференцирующую цепь, резонансный контур, усилитель, аналоговый инвертор, цифровой инвертор, синхронный детектор, интегратор, резистор обратной связи, при этом в состав генератора возбуждения входят задающий генератор, второй делитель частоты и формирователь напряжения треугольной формы, включенные последовательно, причем обмотка одноэлементного феррозонда соединена с входом формирователя временных интервалов через дифференцирующую цепь, соединена с выходом формирователя напряжения треугольной формы через фазосдвигающую цепь, соединена с выходом интегратора через резистор обратной связи, выход формирователя временных интервалов соединен с входом усилителя через резонансный контур, выход усилителя соединен с сигнальными входами синхронного детектора непосредственно и через аналоговый инвертор, выход задающего генератора соединен с входом делителя частоты, выход которого соединен с управляющими входами синхронного детектора непосредственно и через цифровой инвертор, выход синхронного детектора соединен с входом интегратора, выход которого является выходом устройства.

RU 1757307 C

RU 1757307 C



Фиг. 1



Фиг. 2

RU 1757307 C

RU 1757307 C