



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01R 33/05 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019112266, 22.04.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.04.2019

Дата регистрации:  
03.02.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.04.2019

(45) Опубликовано: 03.02.2020 Бюл. № 4

Адрес для переписки:  
660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр.  
38, ИФ СО РАН, отдел патентной и  
изобретательской работы

(72) Автор(ы):

Бабицкий Александр Николаевич (RU),  
Беляев Борис Афанасьевич (RU),  
Боев Никита Михайлович (RU),  
Изотов Андрей Викторович (RU),  
Бурмитских Антон Владимирович (RU),  
Клешнина Софья Андреевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный  
исследовательский центр "Красноярский  
научный центр Сибирского отделения  
Российской академии наук" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2682076 C1, 14.03.2019. RU 183446  
U1, 24.09.2018. RU 43654 U1, 27.01.2005. US  
4112367 A1, 05.09.1978.

## (54) ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ МАГНИТОМЕТР СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

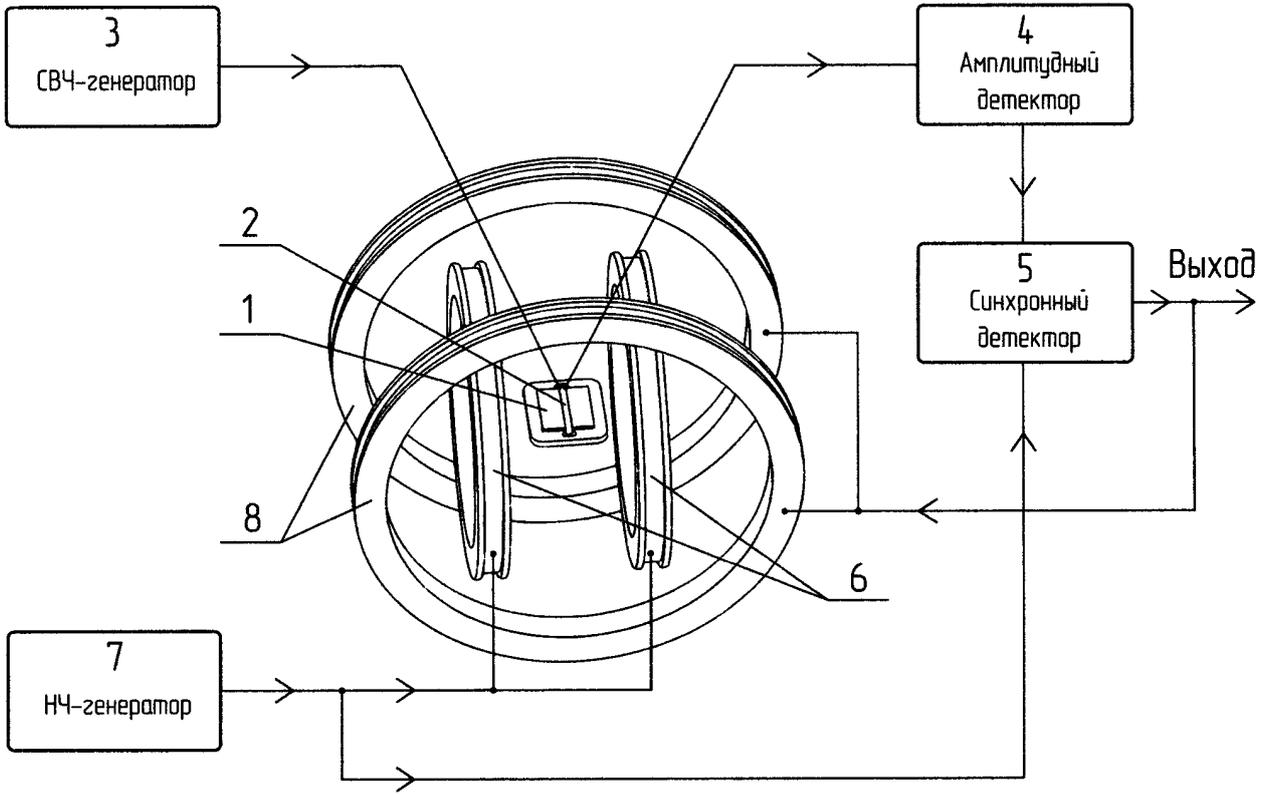
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может использоваться в магнитометрии. Сущность изобретения заключается в том, что в тонкопленочном магнитометре слабых магнитных полей под углом  $\alpha$  к оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки с помощью дополнительной магнитной системы и низкочастотного генератора прямоугольных импульсов тока формируется модулирующее поле, причем амплитуда модулирующего поля больше величины поля анизотропии тонкой

магнитной пленки, выходной сигнал амплитудного детектора подается на первый вход синхронного детектора, на второй вход которого поступает опорный сигнал от низкочастотного генератора, при этом выход синхронного детектора подключен к компенсирующей магнитной системе и одновременно является выходным сигналом устройства. Технический результат – повышение чувствительности и снижение величины дрейфа нулевого значения выходного сигнала магнитометра. 3 ил.

RU 2 712 926 C1

RU 2 712 926 C1



Фиг. 1

RU 2712926 C1

RU 2712926 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01R 33/05 (2019.08)*

(21)(22) Application: **2019112266, 22.04.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**22.04.2019**

Registration date:  
**03.02.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **22.04.2019**

(45) Date of publication: **03.02.2020** Bull. № 4

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, str.  
38, IF SO RAN, otdel patentnoj i izobretatelskoj  
raboty**

(72) Inventor(s):

**Babitskij Aleksandr Nikolaevich (RU),  
Belyaev Boris Afanasevich (RU),  
Boev Nikita Mikhajlovich (RU),  
Izotov Andrej Viktorovich (RU),  
Burmitskikh Anton Vladimirovich (RU),  
Kleshnina Sofya Andreevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe  
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj  
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj  
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii  
nauk" (RU)**

(54) **THIN-FILM MAGNETIC FIELD OF WEAK MAGNETIC FIELDS**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment and can be used in magnetometry. Essence of invention consists in the fact that in thin-film magnetometer of weak magnetic fields at angle  $\alpha$  to difficult magnetization axis of thin magnetic film by means of additional magnetic system and low-frequency generator of rectangular current pulses a modulating field is formed, wherein amplitude of modulating field is greater than value of anisotropy field of thin magnetic

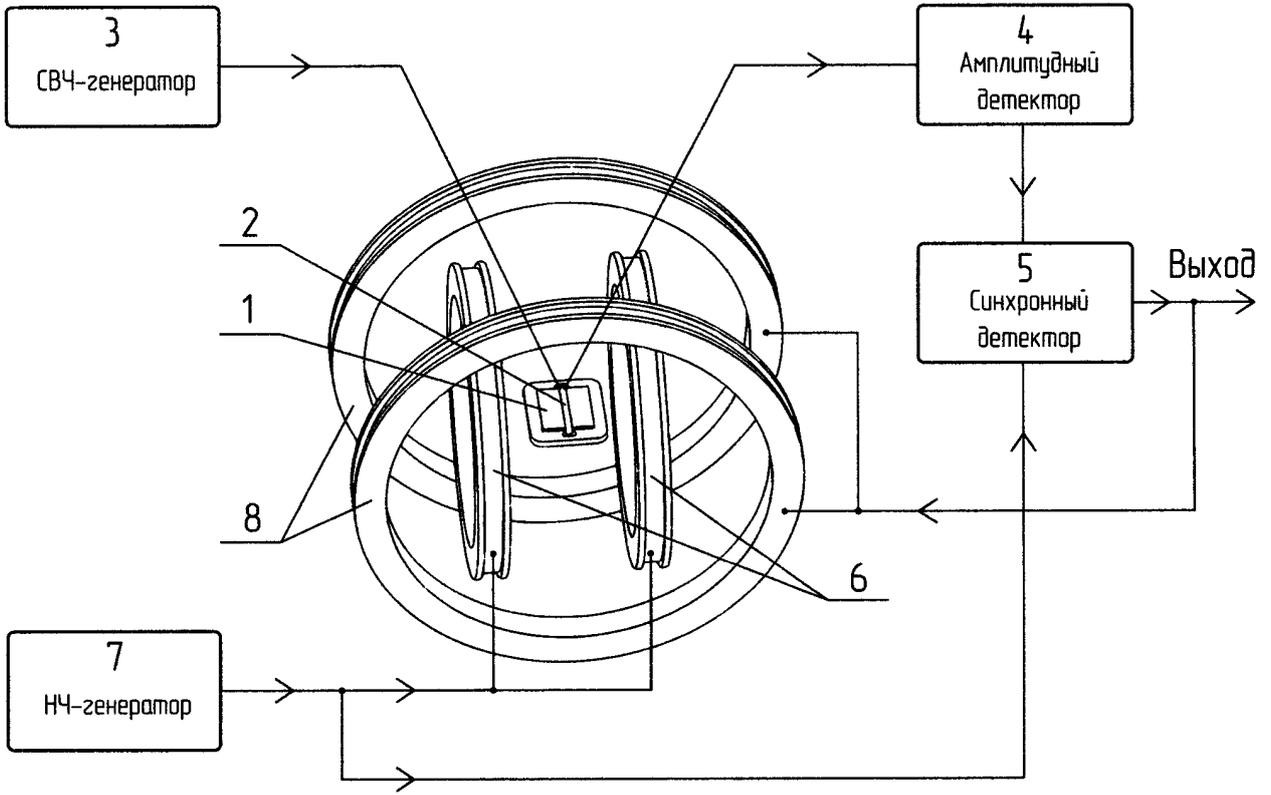
film, output signal of amplitude detector is supplied to first input of synchronous detector, to second input of which receives reference signal from low-frequency generator, wherein the output of the synchronous detector is connected to the compensating magnetic system and simultaneously is the output signal of the device.

EFFECT: high sensitivity and low drift of the zero value of the output signal of the magnetometer.

1 cl, 3 dwg

RU 2 712 926 C1

RU 2 712 926 C1



Фиг. 1

RU 2712926 C1

RU 2712926 C1

Изобретение относится к измерительной технике, а более конкретно - предназначено для измерения параметров слабых магнитных полей и может использоваться в магнитометрии.

Известен датчик слабых высокочастотных магнитных полей [Патент РФ №2536083, МПК G01R 33/05, G01R 33/24, опубл. 20.12.2014], содержащий диэлектрическую подложку, на верхней стороне которой нанесены полосковые проводники двух микрополосковых резонаторов, а на нижней стороне осаждена магнитная пленка, покрытая металлическим слоем, выполняющим роль экрана. Проводники резонаторов расположены под оптимальным углом друг к другу, обеспечивающим максимальный коэффициент преобразования датчика. Мощность СВЧ-генератора подается на оба резонатора одновременно, а выходной сигнал датчика формируется двумя сигналами, снимаемыми одновременно с этих двух резонаторов, при этом сигналы резонаторов суммируются, а шумы генератора компенсируются. Постоянное магнитное поле смещения формируется магнитной системой, состоящей из постоянных магнитов.

Также известен малогабаритный высокочастотный магнитометр [Патент РФ №163174, G01R 33/05, опубл. 10.07.2016], содержащий многослойную печатную плату, на которой размещена диэлектрическая подложка с нанесенными на поверхности подложки полосковыми проводниками двух микрополосковых резонаторов. На нижней стороне подложки, обращенной к заземленному экрану печатной платы, осаждена тонкая магнитная пленка. Накачка резонаторов осуществляется СВЧ-генератором, размещенном в экранирующем корпусе. Выходной сигнал магнитометра формируется двумя амплитудными детекторами и дифференциальным усилителем с компенсационной схемой измерения. Постоянное поле смещения в магнитной пленке создается системой из постоянных магнитов.

Недостатком известных конструкций является дрейф нулевого значения на выходе магнитометра, что не позволяет проводить измерение параметров магнитного поля на частотах ниже  $10^{-2}$  Гц. Другим недостатком известных устройств является низкая чувствительность, что вызвано существенной неоднородностью формирования постоянного магнитного поля смещения в области размещения тонкопленочного образца.

Наиболее близким аналогом (прототипом) по совокупности существенных признаков является датчик слабых магнитных полей [Патент РФ №2682076, G01R 33/24, опубл. 14.03.2019 (прототип)], содержащий СВЧ-генератор, чувствительный элемент на основе микрополоскового резонатора с тонкой магнитной пленкой, магнитную систему, амплитудный детектор, операционный усилитель, компенсационную систему, модуляционный генератор и схему синхронного детектирования. Направления высокочастотного магнитного поля и постоянного поля смещения совпадают с осью трудного намагничивания пленки, а направления измеряемого, компенсационного и модулирующего поля перпендикулярны оси трудного намагничивания пленки.

Однако известные конструкции и конструкция-прототип не обеспечивают достаточно высокой чувствительности и низкого дрейфа нулевого значения сигнала на выходе магнитометра.

Техническим результатом заявленного технического решения является повышение чувствительности и снижение величины дрейфа нулевого значения выходного сигнала магнитометра.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в тонкопленочном магнитометре слабых магнитных полей, содержащем тонкую магнитную пленку, размещенную в микрополосковом резонаторе, подключенном к СВЧ-генератору,

амплитуда колебаний в котором измеряется амплитудным детектором, при этом направление высокочастотного магнитного поля совпадает с направлением оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, а направление оси максимальной чувствительности перпендикулярно положению магнитного момента, компенсирующую магнитную систему, формирующую компенсирующее магнитное поле в направлении оси легкого намагничивания, новым является то, что под углом  $\alpha$  к оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки с помощью дополнительной магнитной системы и низкочастотного генератора прямоугольных импульсов тока формируется модулирующее поле, причем амплитуда модулирующего поля больше величины поля анизотропии тонкой магнитной пленки, выходной сигнал амплитудного детектора подается на первый вход синхронного детектора, на второй вход которого поступает опорный сигнал от низкочастотного генератора, при этом выход синхронного детектора подключен к компенсирующей магнитной системе и одновременно является выходным сигналом устройства.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием магнитной системы и низкочастотного генератора прямоугольных импульсов тока, формирующих в плоскости тонкой магнитной пленки модулирующее поле, направленное под углом  $\alpha$  к оси трудного намагничивания пленки.

Существенным отличием является наличие системы формирования модулирующего поля, направленного под углом  $\alpha$  к оси трудного намагничивания пленки, и схемы синхронного детектирования сигнала, что позволяет повысить долговременную стабильность параметров заявляемого устройства.

Другим существенным отличием является формирование магнитного поля смещения (подмагничивающего поля) с помощью магнитной системы, например, с помощью колец Гельмгольца или катушек Фанселау, что позволяет значительно повысить однородность поля смещения в области тонкой магнитной пленки и, как результат, повысить чувствительность заявляемого устройства.

Таким образом, перечисленные выше отличительные признаки от прототипа позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Данное изобретение поясняется чертежами: на фиг. 1 приведена структурная схема тонкопленочного магнитометра слабых магнитных полей; на фиг. 2 показана ориентация полей в магнитометре относительно осей анизотропии тонкой магнитной пленки -  $a$ , зависимость нормированной величины коэффициента преобразования магнитометра от величины поля  $H_{\text{мод}}$  для оптимального значения угла  $\alpha$  между направлением оси трудного намагничивания пленки и направлением поля  $H_{\text{мод}}$ ; на фиг. 3 приведен пример реализации конструкции тонкопленочного магнитометра слабых магнитных полей.

Тонкопленочный магнитометр слабых магнитных полей (фиг. 1) содержит: тонкую магнитную пленку (1), например, из пермаллоя, помещенную в микрополосковый СВЧ-резонатор (2), резонансная частота которого находится в диапазоне частот 400-800 МГц. К СВЧ-резонатору (2) подключен СВЧ-генератор (3) и амплитудный детектор (4). Выход амплитудного детектора подключен на первый вход синхронного детектора (5). В области размещения тонкой магнитной пленки (1) создается однородное модулирующее магнитное поле модуляционными катушками (6), например, кольцами Гельмгольца. Вход модулирующих катушек (6) подключен к выходу низкочастотного

генератора (7) прямоугольных импульсов тока. Выход низкочастотного генератора (7) также подключен ко второму входу синхронного детектора (5). Частота низкочастотного генератора (7) выбирается исходя из требований обеспечения необходимой полосы частот:  $f_{\text{Нмод}} \gg f_{\text{Низм}}$ . Выход синхронного детектора (5) соединен со входом компенсационных катушек (8), например, колец Гельмгольца, формирующих однородное компенсирующее магнитное поле в области размещения пленки. Выходной сигнал синхронного детектора (5) также является выходным сигналом устройства.

Устройство (фиг. 1) работает следующим образом. Сигнал СВЧ-генератора (3) возбуждает колебания в микрополосковом СВЧ-резонаторе (2), внутри которого размещена тонкая магнитная пленка (1). Причем пленка размещена таким образом, что высокочастотное магнитное поле  $H_{\text{ВЧ}}$  СВЧ-резонатора (2) направлено вдоль оси трудного намагничивания пленки. Амплитудный детектор (4), подключенный к СВЧ-резонатору (2), используется для измерений амплитуды СВЧ-колебаний. Сигнал от низкочастотного генератора (7) прямоугольных импульсов тока поступает на катушки (6) Гельмгольца, формирующие модуляционное поле, направленное в плоскости пленки под углом  $\alpha$  к оси трудного намагничивания. При использовании, например, тонких магнитных пленок состава  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  угол  $\alpha$  выбирается по максимуму коэффициента преобразования чувствительного элемента в диапазоне от  $0.1^\circ$  до  $30^\circ$  (зависит от качества пленок) [Беляев Б.А., Боев Н.М., Изотов А.В., Соловьев П.Н., Тюрнев В.В. Исследование датчика слабых магнитных полей на резонансной микрополосковой структуре с тонкой ферромагнитной пленкой // Известия высших учебных заведений: Физика. 2018. Т. 61, №8. С. 3-10]. Ориентация магнитных полей в области размещения тонкой магнитной пленки показана на фиг. 2, (а). Низкочастотный генератор (7) формирует в модуляционных катушках (6) прямоугольные импульсы тока, при этом амплитуда поля модуляции  $H_{\text{Мод}}$  выбирается в диапазоне  $(1.1-1.3) \cdot H_{\text{к}}$ , где  $H_{\text{к}}$  - величина поля анизотропии тонкой магнитной пленки. Таким образом, в течение первой половины периода прямоугольного импульса тока низкочастотного генератора (7) рабочая точка находится в положении А, в течение второй половины периода - в положении Б (фиг. 2, б). Измеряемое (пробное) магнитное поле подается вдоль направления оси легкого намагничивания пленки (фиг. 2, а). Воздействие внешнего измеряемого магнитного поля приводит к отклонению равновесного положения магнитного момента и, как следствие, к изменению мнимой части комплексной магнитной проницаемости тонкой магнитной пленки, что фиксируется по изменению добротности СВЧ-резонатора и амплитуды СВЧ-колебаний амплитудным детектором (4) [Бабицкий А.Н., Беляев Б.А., Боев Н.М., Скоморохов Г.В., Изотов А.В., Галеев Р.Г. Магнитометр слабых квазистационарных и высокочастотных полей на резонансных микрополосковых преобразователях с тонкими магнитными пленками // Приборы и техника эксперимента. 2016. №3. С. 96-104]. Выходной сигнал амплитудного детектора (4) поступает на первый вход синхронного детектора (5), на второй вход которого подается опорный сигнал низкочастотного генератора (7) модулирующего поля. Выходным сигналом тонкопленочного магнитометра слабых магнитных полей является выходной сигнал синхронного детектора (5). В целях повышения долговременной стабильности параметров магнитометра применяется компенсационный метод измерений, для этого выходной сигнал синхронного детектора (5) подается на компенсационные катушки (8), которые формируют компенсирующее поле в области чувствительного элемента.

Пример реализации конструкции тонкопленочного магнитометра слабых магнитных полей показан на фиг. 3. Тонкая магнитная пленка (1) размещается в микрополосковом

СВЧ-резонаторе (2), расположенном на верхней стороне первой печатной платы (9). На нижней стороне первой печатной платы (9) расположены элементы СВЧ-генератора (3) и амплитудного детектора (4). На второй печатной плате (10) расположены низкочастотный генератор (7), синхронный детектор (5) и электрорадиоизделия системы питания устройства. Модулирующее поле формируется катушками (6) Гельмгольца, а компенсационное поле создается катушками (8) Фанселау.

Экспериментальные исследования заявляемого тонкопленочного магнитометра слабых магнитных полей показали, что, по сравнению с прототипом, заявляемое устройство обеспечивает более высокую чувствительность и меньший дрейф нулевого значения сигнала на выходе устройства.

#### (57) Формула изобретения

Тонкопленочный магнитометр слабых магнитных полей, содержащий тонкую магнитную пленку, размещенную в микрополосковом резонаторе, подключенном к СВЧ-генератору, амплитуда колебаний в котором измеряется амплитудным детектором, при этом направление высокочастотного магнитного поля совпадает с направлением оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, а направление оси максимальной чувствительности перпендикулярно положению магнитного момента, компенсационную магнитную систему, формирующую компенсирующее магнитное поле в направлении оси легкого намагничивания, отличающийся тем, что под углом  $\alpha$  к оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки с помощью дополнительной магнитной системы и низкочастотного генератора прямоугольных импульсов тока формируется модулирующее поле, причем амплитуда модулирующего поля больше величины поля анизотропии тонкой магнитной пленки, выходной сигнал амплитудного детектора подается на первый вход синхронного детектора, на второй вход которого поступает опорный сигнал от низкочастотного генератора, при этом выход синхронного детектора подключен к компенсирующей магнитной системе и одновременно является выходным сигналом устройства.

30

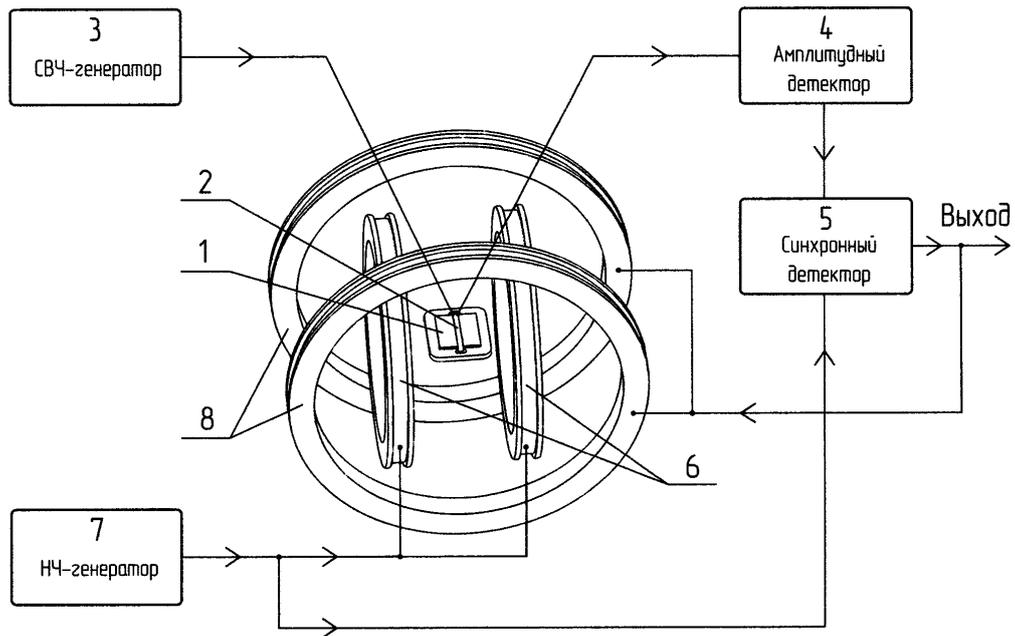
35

40

45

1

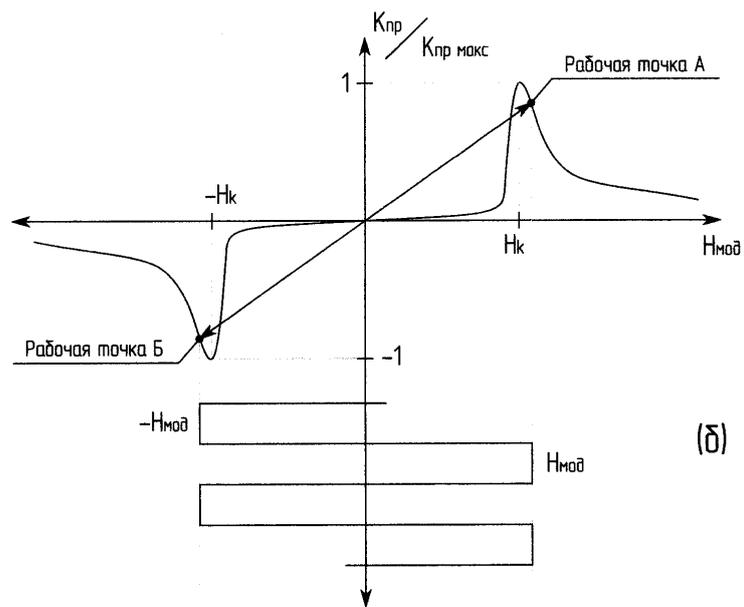
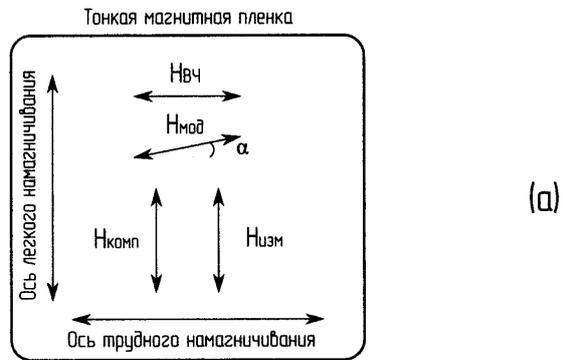
1/3



Фиг. 1

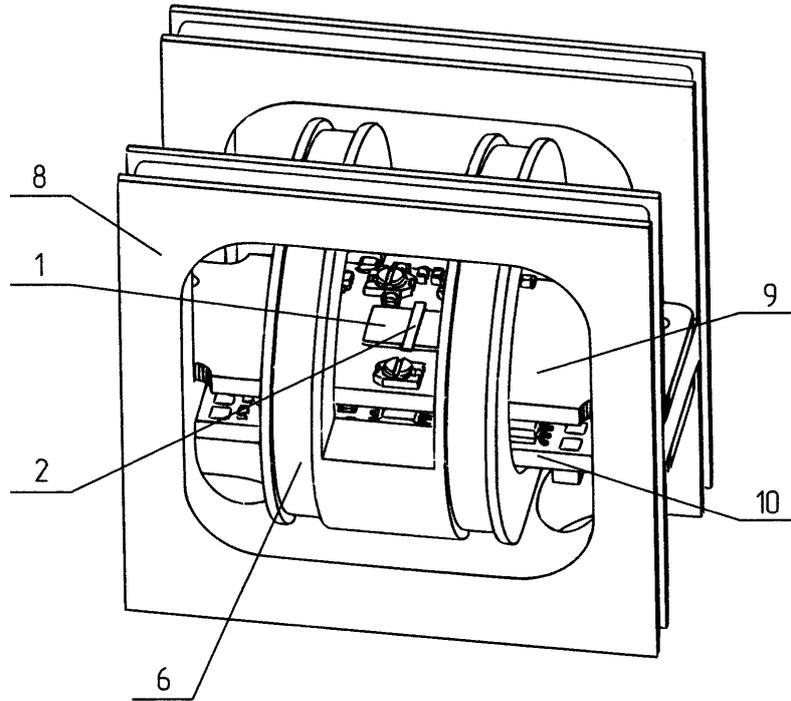
2

2/3



Фиг. 2

3/3



Фиг. 3