



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/05 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019112006, 19.04.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.04.2019

Дата регистрации:
03.02.2020

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 19.04.2019

(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),
Сушков Артем Александрович (RU),
Батурин Тимур Нугзарович (RU),
Шабанов Дмитрий Александрович (RU)

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

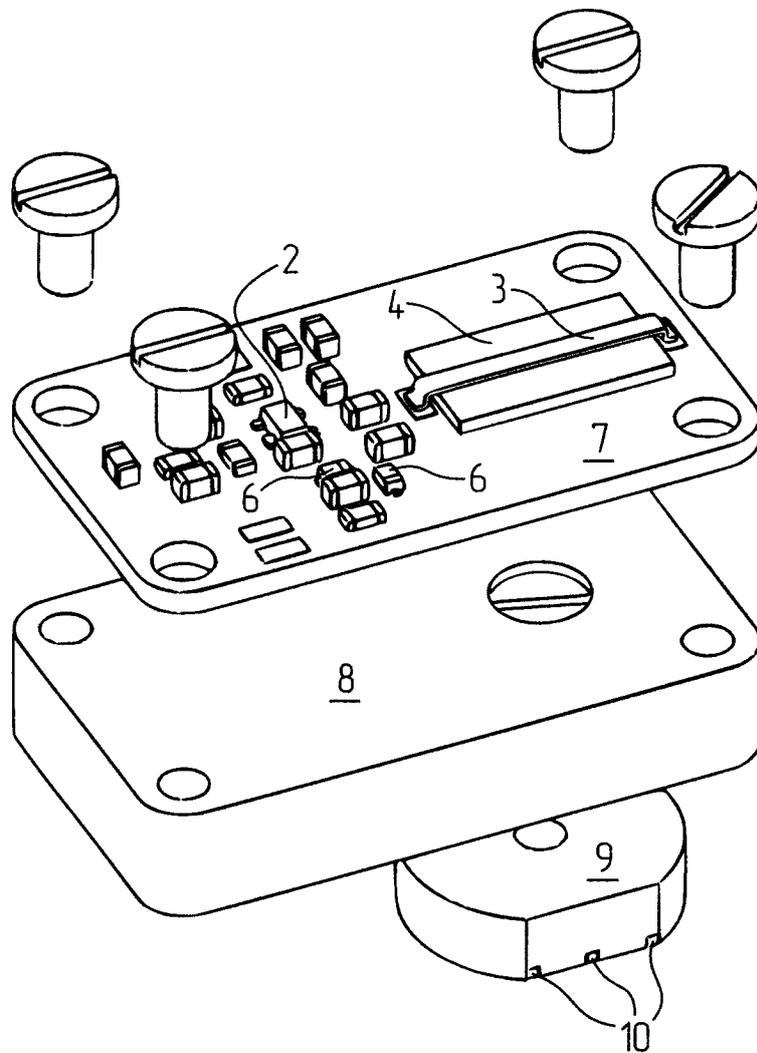
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 163174 U1, 10.07.2016. RU 183446
U1, 24.09.2018. SU 1810855 A1, 23.04.1993. US
7345475 B2, 18.03.2008.

(54) ТОНКОПЛЕНОЧНАЯ МАГНИТНАЯ АНТЕННА

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для измерения величины и направления слабых магнитных полей в широком диапазоне частот и может использоваться в первую очередь в магнитометрии. Тонкопленочная магнитная антенна содержит СВЧ-генератор, тонкую магнитную пленку, амплитудный детектор, магнитную систему, формирующую постоянное

поле смещения, направленное под углом α к оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, при этом тонкая магнитная пленка размещается под отрезком полоскового проводника, который является индуктивной частью резонатора СВЧ-генератора. Технический результат – уменьшение массы и габаритов устройства при одновременном обеспечении широкой рабочей полосы частот. 3 ил.



Фиг. 3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 33/05 (2019.08)

(21)(22) Application: **2019112006, 19.04.2019**

(24) Effective date for property rights:
19.04.2019

Registration date:
03.02.2020

Priority:

(22) Date of filing: **19.04.2019**

(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),
Sushkov Artem Aleksandrovich (RU),
Baturin Timur Nugzarovich (RU),
Shabanov Dmitrij Aleksandrovich (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 ANTENNA**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment and is intended for measurement of value and direction of weak magnetic fields in wide range of frequencies and can be used primarily in magnetometry. Thin-film magnetic antenna comprises a microwave generator, a thin magnetic film, an amplitude detector, a magnetic system which generates a constant displacement field directed at an angle α to difficult

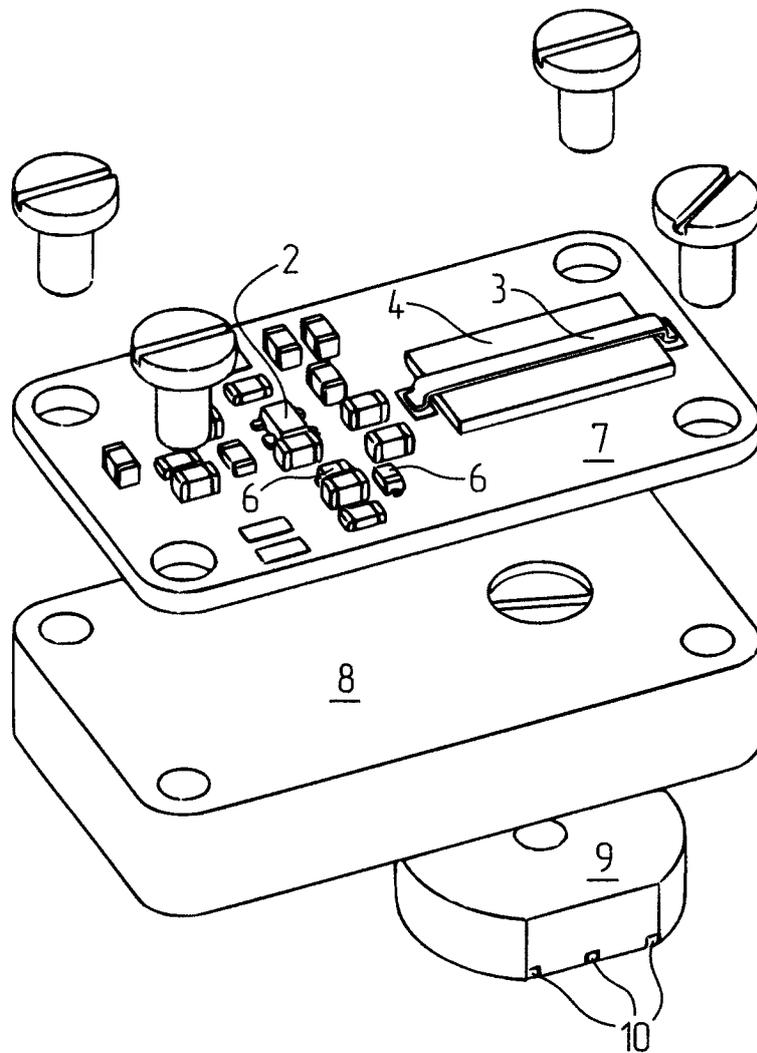
magnetization axis of thin magnetic film, wherein the thin magnetic film is placed under the section of the strip conductor, which is the inductive part of the resonator of the microwave generator.

EFFECT: reduced weight and dimensions of the device while providing a wide operating frequency band.

1 cl, 3 dwg

RU 2 712 922 C1

RU 2 712 922 C1



Фиг. 3

Изобретение относится к измерительной технике, а более конкретно -предназначено для измерения величины и направления слабых магнитных полей в широком диапазоне частот и может использоваться в первую очередь в магнитометрии.

Известен магнитометр [Патент СССР №855561, МПК G01R 33/02, опубл. 15.08.1981],
5 содержащий кварцевый генератор тока возбуждения, который через конденсатор
подключен к контуру измерительного преобразователя, состоящего из катушки с
тонкопленочным магниточувствительным сердечником и конденсатора. Поле катушки
направлено вдоль оси трудного намагничивания пленки. Один вывод контура
10 подключен к базе дополнительного транзистора, а другой к конденсатору блокировки
и опорному диоду, который через резистор подключен к источнику питания. Эмиттер
дополнительного транзистора подключен к фильтру низкой частоты, состоящему из
резистора и конденсатора. В цепи питания коллектора этого транзистора
15 последовательно включена высокочастотная катушка с положительной обратной
связью с катушкой контура измерительного преобразователя. К фильтру низкой частоты
подключен регистрирующий прибор. Кварцевый генератор тока возбуждения через
конденсатор подает ток высокой частоты на параллельный колебательный контур
измерительного преобразователя. Собственная резонансная частота контура выбрана
20 таким образом, чтобы при нулевом внешнем магнитном поле, частота тока возбуждения
попадала бы на склон резонансной кривой (на уровне 0.7 от резонансного значения)
контура измерительного преобразователя. При воздействии внешнего магнитного
поля, направленного вдоль оси легкого намагничивания тонкопленочного сердечника,
изменяется индуктивность катушки, что приводит к изменению резонансной частоты
контура. В результате меняется комплексное сопротивление контура измерительного
25 преобразователя на частоте тока возбуждения. Это приводит к изменению величины
снимаемого с контура высокочастотного напряжения. Напряжение с контура подается
на базу дополнительного транзистора, в коллекторной цепи которого подключена
высокочастотная катушка, и, за счет положительной индуктивной обратной связи с
катушкой контура, уменьшает собственные потери контура измерительного
30 преобразователя, увеличивая его добротность. В эмиттерной цепи транзистора с
помощью низкочастотного фильтра из резистора и конденсатора выделяется огибающая
высокочастотного напряжения на контуре. Эта огибающая соответствует измеряемому
магнитному полю и фиксируется с помощью регистрирующего прибора.

Известен также магнитометр [Патент СССР №945835, МГЖ G01R 33/02, опубл.
23.07.1982], содержащий анизотропный ферромагнитный тонкопленочный сердечник
35 с направлением измеряемого поля и поля смещения вдоль оси легкого намагничивания,
а поля высокочастотного возбуждения и направления съема информации - вдоль оси
трудного намагничивания, кварцевый генератор тока возбуждения с колебательным
измерительным контуром, ключ, делитель напряжения, низкочастотный генератор
импульсов, а также преобразователь высокочастотного напряжения в постоянное
40 напряжение, подключенный к выходу кварцевого генератора тока возбуждения. В
устройстве введена намотанная на сердечник под углом $\pi/4$ к оси легкого
намагничивания катушка ориентации вектора намагниченности, зашунтированная
диодом и подключенная через ключ к низкочастотному генератору импульсов.
Высокочастотный сигнал с выхода транзистора генератора тока возбуждения подается
45 на делитель напряжения, составленный из последовательно соединенных конденсатора
связи и измерительного контура. Собственная резонансная частота измерительного
контура выбрана ниже частоты генератора тока возбуждения, поэтому сопротивление
контура носит емкостной характер. При воздействии измеряемого магнитного поля

на пленочную среду сердечника вдоль оси легкого намагничивания изменяется индуктивность контурной обмотки катушки, что приводит к изменению резонансной частоты измерительного контура. Это вызывает изменение емкостного сопротивления контура, а соответственно возникает амплитудная модуляция высокочастотного напряжения на контуре, соответствующая величине измеряемого магнитного поля. С помощью преобразователя высокочастотного напряжения на контуре в постоянное напряжение выделяется низкочастотная огибающая напряжения на контуре, которая соответствует измеряемому магнитному полю.

Недостатком известных конструкций магнитометров является низкая чувствительность, т.е. высокий уровень собственных шумов измерительного преобразователя, причиной чего является размещение тонкой магнитной пленки внутри многovitковой низкочастотной индуктивности и, как следствие, участие краевых участков пленки в работе устройства. Кроме того, известные конструкции не обеспечивают широкой полосы частот и не могут применяться для измерений параметров магнитных полей на частотах диапазона 10^6 - 10^8 Гц.

Известен датчик слабых высокочастотных магнитных полей [Патент РФ №2536083, МПК G01R 33/05, G01R 33/24, опубл. 20.12.2014]. Основой чувствительного элемента датчика являются микрополосковые резонаторы, образованные полосковыми проводниками, которые нанесены на верхней стороне диэлектрической подложки, а с нижней стороны которой осаждена тонкая магнитная пленка. На оба резонатора датчика одновременно подается мощность от СВЧ-генератора. Выходной сигнал датчика формируется двумя протектированными сигналами, снятыми одновременно с двух резонаторов, которые затем подаются на дифференциальный усилитель. Измеряемое магнитное поле воздействует на тонкую магнитную пленку, находящуюся в области пучности СВЧ-магнитного поля резонаторов, что приводит к разнонаправленному изменению высокочастотной магнитной восприимчивости тонкой магнитной пленки в разных резонаторах и, как следствие, к разнонаправленному перераспределению амплитуд высокочастотного напряжения на полосковых проводниках резонаторов на частоте СВЧ-генератора. Поэтому в точках на полосковых проводниках резонаторов, с которых снимаются сигналы, при изменении измеряемого магнитного поля амплитуда одного сигнала возрастает, а другого убывает, и, наоборот, в зависимости от знака изменения поля. Сигналы с микрополосковых резонаторов после детектирования поступают на входы дифференциального усилителя, за счет чего коэффициент преобразования возрастает в два раза. Выходной сигнал снимается с дифференциального усилителя.

Недостатками известной конструкции являются большие масса и габариты, которые определяются массогабаритными характеристиками двух СВЧ-резонаторов, СВЧ-генератора, двух амплитудных детекторов, магнитной системы, дифференциального усилителя.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является малогабаритный высокочастотный магнитометр [Патент РФ №163174, G01R 33/05, опубл. 10.07.2016, (прототип)]. Измерительный преобразователь магнитометра состоит из активного элемента, генератора накачки, двух амплитудных детекторов, операционного усилителя, магнитной системы, создающей постоянное поле смещения, и компенсационной катушки низкочастотных магнитных полей. Активным элементом измерительного преобразователя является система из двух микрополосковых резонаторов, в качестве активной среды которой используется тонкая магнитная пленка, изготавливаемая методом вакуумного напыления пермаллоя. Высокочастотное поле

создается СВЧ-резонаторами и направлено под небольшим углом к оси трудного намагничивания.

Оптимальная величина смещающего поля, которая обеспечивает максимальную чувствительность датчика, создается постоянными магнитами и направлена вдоль оси трудного намагничивания. Максимум чувствительности к измеряемому полю находится вблизи оси легкого намагничивания. Для реализации компенсационного метода измерений используется компенсационная катушка низкочастотных магнитных полей. Воздействие внешнего измеряемого поля приводит к отклонению равновесного положения магнитного момента в тонкой магнитной пленке и к изменению потерь, вносимых пленкой в СВЧ-резонаторы, что регистрируется амплитудными детекторами. Выходные сигналы амплитудных детекторов поступают на операционный усилитель, сигнал с которого является выходным сигналом устройства.

Недостатками конструкции-прототипа являются большие габариты и масса, которые определяются габаритами и массой входящих в состав датчика отдельного СВЧ-генератора, двух СВЧ-резонаторов, двух амплитудных детекторов, операционного усилителя, магнитной системы, компенсационной системы измерений.

Техническим результатом заявленного технического решения является уменьшение массы и габаритов устройства при одновременном обеспечении широкой рабочей полосы частот.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в тонкопленочной магнитной антенне, содержащей СВЧ-генератор, тонкую магнитную пленку, амплитудный детектор, магнитную систему, формирующую постоянное поле смещения, направленное под углом α к оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, новым является то, что тонкая магнитная пленка размещается под отрезком полоскового проводника, который является индуктивной частью резонатора СВЧ-генератора.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием отрезка полоскового проводника, под которым размещается тонкая магнитная пленка. Существенным отличием является то, что отрезок полоскового проводника является индуктивной частью резонатора СВЧ-генератора - это позволяет значительно сократить габариты и массу тонкопленочной магнитной антенны. Кроме того, дополнительный положительный эффект достигается за счет того, что конструкция не требует подстройки частоты генератора и резонансной частоты СВЧ-резонатора с пленкой.

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 электрическая принципиальная схема тонкопленочной магнитной антенны. На фиг. 2 показана ориентация магнитных полей в области размещения тонкой магнитной пленки. На фиг. 3 представлен пример реализации конструкции тонкопленочной магнитной антенны.

Тонкопленочная магнитная антенна (фиг. 1) содержит СВЧ-генератор (1) по схеме Клаппа с общей базой на основе СВЧ-транзистора (2), индуктивным элементом резонатора СВЧ-генератора (1) является отрезок полоскового проводника (3) с тонкой магнитной пленкой (4), осажденной на подложке. Оптимальная рабочая частота СВЧ-генератора (1) зависит от магнитных характеристик тонкой магнитной пленки (4) и,

например, для пленок нестрикционного состава пермаллоя выбирается в диапазоне 0.4-0.8 ГГц. Амплитудный детектор (5), подключенный к резонатору СВЧ-генератора (1), реализован на основе полупроводниковых диодов (6). Ориентация магнитных полей в области размещения тонкой магнитной пленки (4) показана на фиг. 2. Высокочастотное магнитное поле возбуждения $H_{ВЧ}$, формируемое отрезком полоскового проводника (3), направлено вдоль оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки (4). Постоянное магнитное поле смещения (подмагничивающее поле) $H_{СМ}$ направлено под углом α к оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки (4), причем $H_{СМ} > H_K$, где H_K - величина поля анизотропии. Постоянное магнитное поле смещения может быть сформировано системой из постоянных магнитов, кольцами Гельмгольца, катушками Фанселау, напылением магнитожесткого слоя на подложку с тонкой магнитной пленкой (4) и другими устройствами. Угол α зависит от параметров тонкой магнитной пленки (4) и выбирается таким, при котором обеспечивается наибольшая чувствительность магнитной антенны. Для пленок состава $Ni_{80}Fe_{20}$, например, оптимальное значение угла α находится в диапазоне $0.1^\circ - 30^\circ$ и зависит от качества пленки [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]. Максимум чувствительности к измеряемому полю $H_{ИЗМ}$ направлен ортогонально положению магнитного момента, что примерно соответствует направлению оси легкого намагничивания тонкой магнитной пленки.

Пример реализации конструкции тонкопленочной магнитной антенны показан на фиг. 3. На печатной плате (7) размещаются элементы СВЧ-генератора (1), амплитудного детектора (5), тонкая магнитная пленка (4) и отрезок полоскового проводника (3). Печатная плата (7) закрепляется сверху на основании (8), а снизу основания в пазе закрепляется магнитная система (9) с возможностью вращения для настройки, состоящая из постоянных магнитов (10) в форме стержней.

Устройство работает следующим образом (фиг. 1). СВЧ-генератор (1), индуктивным элементом резонатора которого является отрезок полоскового проводника (3), возбуждает высокочастотные колебания магнитного поля $H_{ВЧ}$ в тонкой магнитной пленке (4) в направлении оси трудного намагничивания. Под углом α к оси трудного намагничивания создается постоянное магнитное поле смещения $H_{СМ}$. Воздействие внешнего измеряемого (пробного) поля $H_{ИЗМ}$ приводит к отклонению вектора намагниченности тонкой магнитной пленки (4), что приводит к изменению частоты ферромагнитного резонанса и изменению величины потерь, вносимых в резонатор тонкой магнитной пленкой (4), на частоте работы СВЧ-генератора (1). Как следствие, происходит изменение добротности резонатора СВЧ-генератора (1), что отражается на его амплитуде колебаний. Выходной сигнал амплитудного детектора (5), соответствующий амплитуде колебаний в резонаторе СВЧ-генератора (1), пропорционален величине измеряемого (пробного) поля $H_{ИЗМ}$.

Экспериментальные исследования заявляемой тонкопленочной магнитной антенны показали, что, по сравнению с прототипом, заявляемое устройство обладает меньшими массой и габаритами. Например, реализована конструкция тонкопленочной магнитной антенны, работающей в диапазоне частот $10^0 - 10^8$ Гц, с габаритами не превышающими $15 \times 20 \times 10$ мм и массой не более 15 г. Такие массогабаритные характеристики не являются минимальными, заявляемая конструкция может быть изготовлена в интегральном

исполнении со значительно меньшими габаритами и массой.

(57) Формула изобретения

5 Тонкопленочная магнитная антенна, содержащая СВЧ-генератор, тонкую магнитную пленку, амплитудный детектор, магнитную систему, формирующую постоянное поле смещения, направленное под углом α к оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, отличающаяся тем, что тонкая магнитная пленка размещается под отрезком полоскового проводника, который является индуктивной частью резонатора СВЧ-генератора.

10

15

20

25

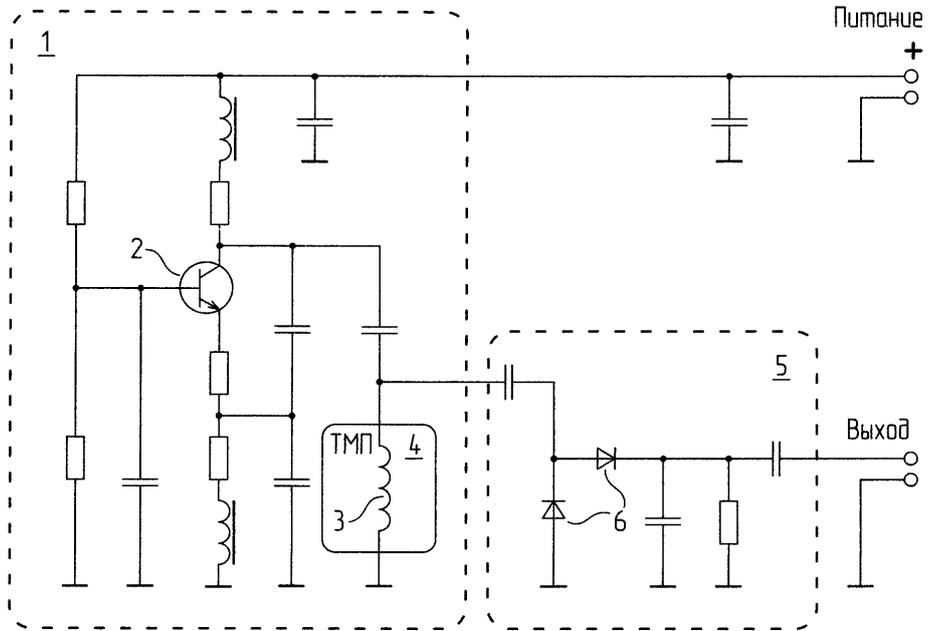
30

35

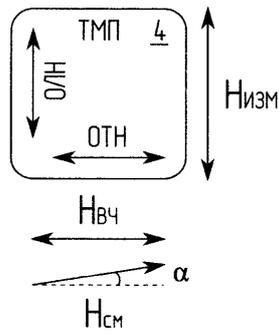
40

45

1

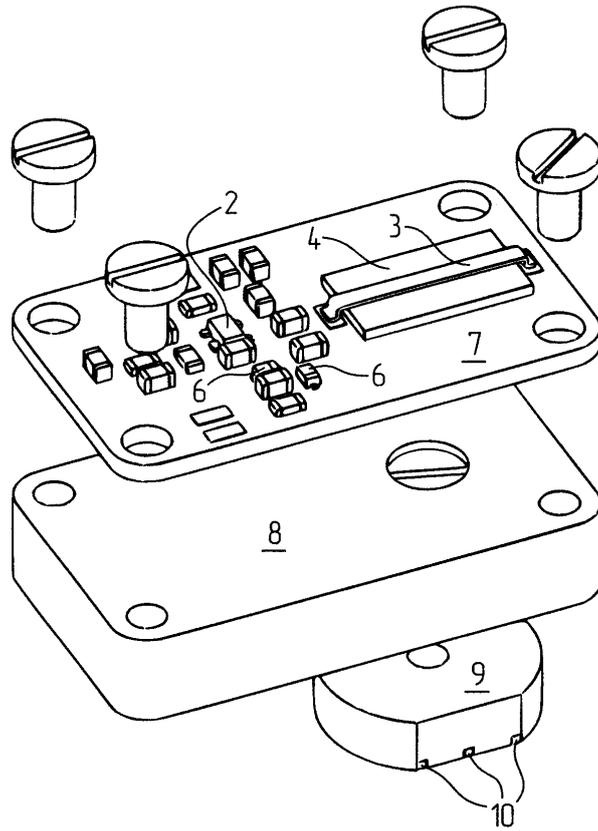


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3