



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/02 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020121274, 22.06.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.06.2020

Дата регистрации:
17.02.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.06.2020

(45) Опубликовано: 17.02.2021 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. 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),
Волошин Александр Сергеевич (RU),
Афонин Алексей Олегович (RU),
Угрюмов Андрей Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр "Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук" (ФИЦ КНЦ СО
РАН, КНЦ СО РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 163174 U1, 10.07.2016. RU 2687557
C1, 15.05.2019. SU 945835 A1, 23.07.1982. US
4112367 A1, 05.09.1978.

(54) Магнитометр на тонкой магнитной пленке

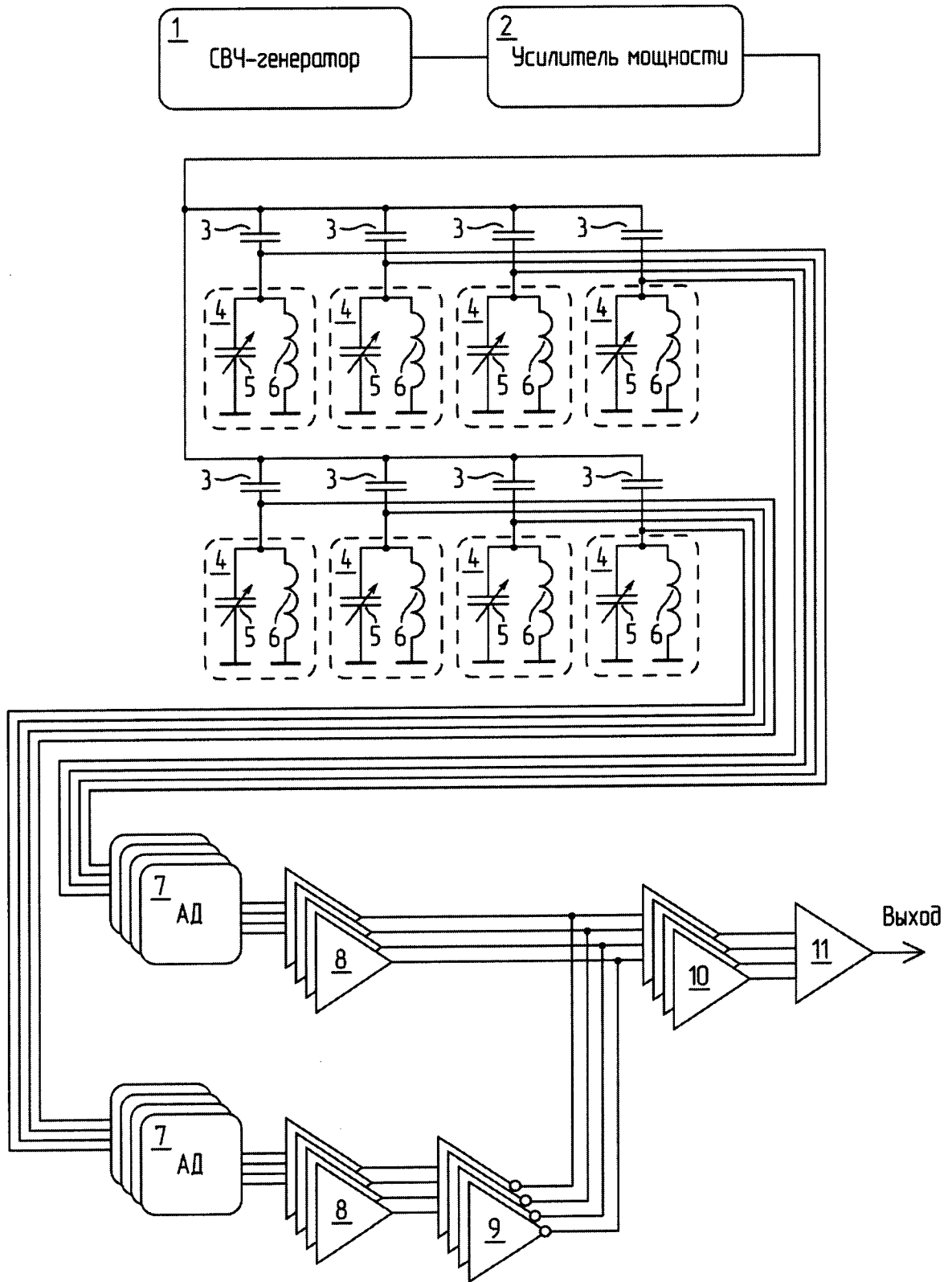
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, а именно предназначено для измерения величин и направлений слабых магнитных полей в широком диапазоне частот, и может применяться в магнитометрии. Магнитометр на тонкой магнитной пленке содержит печатную плату с расположенным на ней СВЧ-генератором, нагрузкой которого являются СВЧ-резонаторы, тонкую магнитную пленку, амплитудные детекторы, подключенные к СВЧ-резонаторам, операционные усилители, магнитную систему, формирующую постоянное магнитное поле, при этом тонкая магнитная пленка находится снаружи

СВЧ-резонаторов, но в непосредственной близости над их индуктивными частями, которые выполнены в виде полосковых проводников на печатной плате, постоянное магнитное поле направлено вдоль оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, а высокочастотное магнитное поле направлено под углом к оси легкого намагничивания, при этом направление максимальной чувствительности совпадает с направлением оси легкого намагничивания. Технический результат - повышение чувствительности магнитометра на тонкой магнитной пленке. 5 ил.

RU 2 743 321 C1

RU 2 743 321 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 33/02 (2020.08)

(21)(22) Application: **2020121274, 22.06.2020**

(24) Effective date for property rights:
22.06.2020

Registration date:
17.02.2021

Priority:

(22) Date of filing: **22.06.2020**

(45) Date of publication: **17.02.2021 Bull. № 5**

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, ul. 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),
Voloshin Aleksandr Sergeevich (RU),
Afonin Aleksej Olegovich (RU),
Ugryumov Andrej Vitalevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (FITS KNTS SO RAN, KNTS SO RAN)
(RU)**

(54) **MAGNETOMETER ON THIN MAGNETIC FILM**

(57) Abstract:

FIELD: measurement.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment, and specifically is intended for measurement of values and directions of weak magnetic fields in a wide frequency range, and can be used in magnetometry. Magnetometer on a thin magnetic film comprises a printed-circuit board with a microwave generator mounted thereon, the load of which is microwave resonators, a thin magnetic film, amplitude detectors connected to microwave resonators, operational amplifiers, a magnetic system which forms a constant magnetic field, wherein thin magnetic film

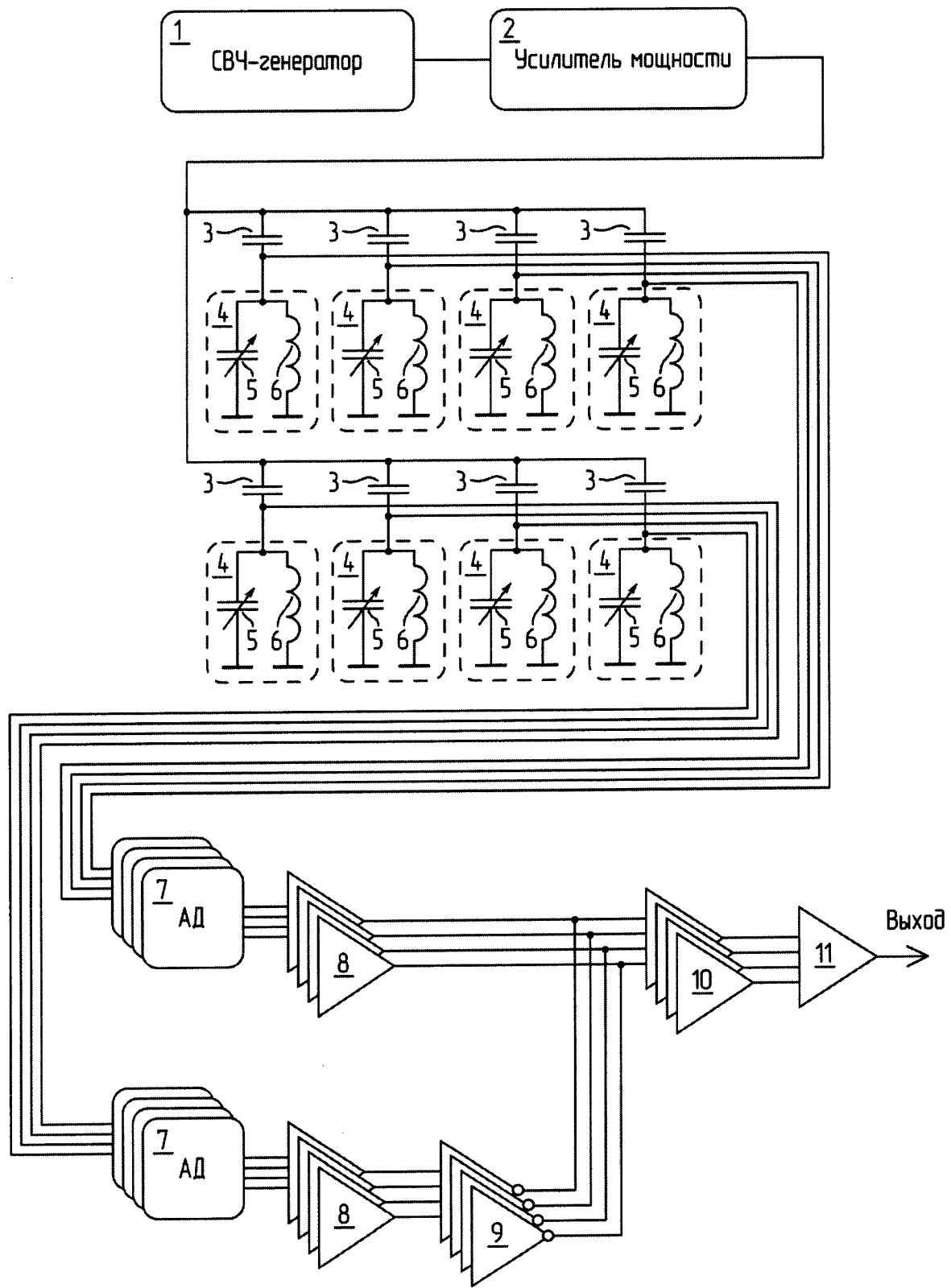
is located outside of microwave resonators, but in close proximity to their inductive parts, which are made in form of strip conductors on printed circuit board, constant magnetic field is directed along the axis of difficult magnetisation of the thin magnetic film, and the high-frequency magnetic field is directed at an angle to the axis of easy magnetization, wherein direction of maximum sensitivity coincides with direction of easy magnetisation axis.

EFFECT: technical result is increased sensitivity of magnetometer on thin magnetic film.

1 cl, 5 dwg

RU 2 743 321 C1

RU 2 743 321 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике, а более конкретно - предназначено для измерения величин и направлений слабых магнитных полей в широком диапазоне частот и может применяться в магнитометрии.

Из современного уровня техники известен датчик слабых высокочастотных магнитных полей [Патент РФ №2536083, МПК G01R 33/05, G01R 33/24, опубл. 20.12.2014]. Датчик содержит диэлектрическую подложку, на верхней стороне которой нанесены полосковые проводники двух микрополосковых резонаторов, а на нижней стороне осаждена тонкая 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 датчика подается на оба резонатора одновременно, а выходной сигнал датчика формируется двумя сигналами, снимаемыми одновременно с этих двух резонаторов. При этом полезные сигналы суммируются, а собственные шумы СВЧ-генератора - компенсируются.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является малогабаритный высокочастотный магнитометр [Патент РФ №163174, G01R 33/05, опубл. 10.07.2016, (прототип)]. Магнитометр содержит печатную плату, на которой размещена подложка с нанесенными на ее поверхности полосковыми линиями двух микрополосковых резонаторов. На нижней стороне подложки, обращенной к экрану печатной платы, осаждена тонкая магнитная пленка. Возбуждение СВЧ-резонаторов осуществляется экранированным СВЧ-генератором, выходной сигнал магнитометра формируется двумя амплитудными детекторами и операционными усилителями. Постоянное магнитное поле создается магнитной системой, состоящей из постоянных магнитов.

Недостатком известной конструкции датчика слабых высокочастотных магнитных полей и недостатком конструкции-прототипа (малогабаритного высокочастотного магнитометра) является низкая чувствительность. Чувствительность известных конструкций датчиков пропорциональна объему магнитного материала тонкой пленки, расположенной внутри микрополосковых резонаторов. Однако увеличению объема тонкопленочного материала путем увеличения размеров пленки в этих устройствах препятствует снижение резонансной частоты микрополосковых резонаторов от оптимальной частоты.

Техническим результатом заявленного технического решения является повышение чувствительности магнитометра на тонкой магнитной пленке.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в магнитометре на тонкой магнитной пленке, содержащем печатную плату, с расположенным на ней СВЧ-генератором, нагрузкой которого являются СВЧ-резонаторы, тонкую магнитную пленку, амплитудные детекторы, подключенные к СВЧ-резонаторам, операционные усилители, магнитную систему, формирующую постоянное магнитное поле, новым является то, что тонкая магнитная пленка находится снаружи СВЧ-резонаторов, но в непосредственной близости над их индуктивными частями, которые выполнены в виде полосковых проводников на печатной плате, постоянное магнитное поле направлено вдоль оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, а высокочастотное магнитное поле направлено под углом к оси легкого намагничивания, при этом направление максимальной чувствительности совпадает с направлением оси легкого намагничивания.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается расположением тонкой магнитной пленки: в конструкции-прототипе тонкая

магнитная пленка находится внутри СВЧ-резонаторов, тогда как в заявляемом устройстве тонкая магнитная пленка находится снаружи СВЧ-резонаторов, что дает возможность наращиванием числа резонаторов значительно увеличить площадь пленки, участвующей в формировании сигнала.

5 Существенным отличием является то, что за счет размещения тонкой магнитной пленки снаружи СВЧ-резонаторов удастся увеличить их количество с двух (как в конструкции-прототипе) до, например, восьми и более.

Следующим существенным отличием является реализация СВЧ-резонатора на печатной плате: индуктивная часть СВЧ-резонатора выполнена в виде полоскового проводника, что дает возможность сформировать массив резонаторов с близкими конструктивными параметрами (индуктивностью, углом к оси легкого намагничивания и др.).

Другим существенным отличием являются направления магнитных полей в заявляемом устройстве: постоянное магнитное поле направлено вдоль оси трудного намагничивания, а высокочастотное магнитное поле направлено под углом к оси легкого намагничивания тонкой магнитной пленки.

Таким образом, перечисленные выше отличительные признаки от прототипа позволяют сделать вывод о том, что заявляемое техническое решение соответствует критерию «новизна».

20 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 функциональная схема магнитометра на тонкой магнитной пленке. На фиг. 2 показана ориентация магнитных полей в области размещения тонкой магнитной пленки. На фиг. 3 представлен пример реализации конструкции магнитометра на тонкой магнитной пленке, вид с верхней стороны, а на фиг. 4 - вид с нижней стороны. На фиг. 5 показан чертеж с разнесенными частями магнитометра на тонкой магнитной пленке.

Магнитометр на тонкой магнитной пленке (фиг. 1) содержит СВЧ-генератор (1), выход которого подключен к усилителю мощности (2), нагруженному через согласующие конденсаторы (3) на четное число СВЧ-резонаторов (4), состоящих из подстроечных конденсаторов (5) и печатных полосковых индуктивностей (6). К каждому СВЧ-резонатору (4) подключены амплитудные детекторы (7), нагруженные на повторители (8). Выходы от амплитудных детекторов (7) первой половины резонаторов напрямую и выходы от амплитудных детекторов (7) второй половины резонаторов через инверторы (9) подключены к сумматорам (10). Выходные сигналы сумматоров (10) подключены на вход сумматора (11), выходной сигнал которого является выходным сигналом магнитометра на тонкой магнитной пленке. Повторители (8), инверторы (9), сумматоры (10) и (11) выполнены на основе операционных усилителей. Тонкая магнитная пленка (12) пермаллоя расположена в конструкции магнитометра таким образом (фиг. 2), что ось легкого намагничивания (ОЛН) магнитной пленки совпадает с направлением максимальной чувствительности к измеряемому полю $H_{ИЗМ}$ и перпендикулярна направлению постоянного магнитного поля $H_{СМ}$, т.е. направление поля $H_{СМ}$ совпадает с направлением оси трудного намагничивания (ОТН) магнитной пленки. В предлагаемом устройстве площадь тонкой магнитной пленки определяется размерами и количеством резонаторов, например, в описываемой конструкции используется тонкая магнитная пленка (12) на подложке размерами 60×48 мм. Существенно, что тонкая магнитная пленка (12) расположена не внутри СВЧ-резонаторов (4), как в конструкции-прототипе,

а снаружи, что не создает ограничений на ее размеры. Под углами $\pm\phi$ к оси легкого намагничивания печатными полосковыми индуктивностями (6) создается магнитное поле $H_{BЧ}$. При этом первая половина СВЧ-резонаторов (4) имеет полосковые индуктивности (6), развернутые на угол $|\phi|$ в одну сторону, а вторая - в противоположную (фиг. 2). Радиоэлементы магнитометра на тонкой магнитной пленке размещены (фиг. 3) на верхней стороне печатной платы (13). На нижней стороне печатной платы размещены печатные полосковые индуктивности (6). Печатная плата (13) закреплена на основании (14), в котором предусмотрено место под тонкую магнитную пленку (12) и магнитную систему (15), создающую постоянное магнитное поле $H_{СМ}$ с помощью постоянных магнитов (16) (фиг. 4). Подложка расположена в основании (14) таким образом, что тонкая магнитная пленка (12) обращена к печатной плате (13) и, соответственно, к полосковым индуктивностям (6) СВЧ-резонаторов (4). В конструкции магнитометра на тонкой магнитной пленке заложена (фиг. 5) возможность вращения магнитной системы (15) для точной установки направления магнитного поля $H_{СМ}$.

Магнитометр на тонкой магнитной пленке работает следующим образом (фиг. 1). СВЧ-генератор (1) формирует СВЧ-сигнал в диапазоне частот 400-800 МГц [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], поступающий на усилитель мощности (2), а затем через согласующие конденсаторы (3) на СВЧ-резонаторы (4). С помощью подстроечных конденсаторов (5) все СВЧ-резонаторы (4) настраиваются на одну резонансную частоту, равную частоте СВЧ-генератора (1). Печатные полосковые индуктивности (6) формируют переменное магнитное поле $H_{BЧ}$, направленное (фиг. 2) под углом $+\phi^\circ$ для первой половины СВЧ-резонаторов (4) и $-\phi^\circ$ для второй половины СВЧ-резонаторов (4) к оси легкого намагничивания (ОЛН) тонкой магнитной пленки (12). Амплитудные детекторы (7) выделяют (фиг. 1) огибающие сигналов на СВЧ-резонаторах (4). Под воздействием измеряемого магнитного поля $H_{ИЗМ}$ происходит изменение величины потерь, вносимых тонкой магнитной пленкой (12) в СВЧ-резонаторы (4), что отражается в изменении амплитуды СВЧ-колебаний, детектируемых амплитудными детекторами (7). Выходные сигналы с амплитудных детекторов (7) поступают на повторители (8), а затем на сумматоры (10), причем сигналы второй половины СВЧ-резонаторов (4) предварительно инвертируются с помощью инверторов (9). В результате на выходах сумматоров (10) удается компенсировать постоянную составляющую сигнала, не несущую полезной информации, и удвоить амплитуду полезного сигнала [Патент РФ №2536083, МПК G01R 33/05, G01R 33/24, опубл. 20.12.2014]. Выходные сигналы сумматоров (10) суммируются с использованием сумматора (11), выходной сигнал которого является выходным сигналом магнитометра на тонкой магнитной пленке.

Экспериментальные исследования заявляемого магнитометра на тонкой магнитной пленке показали, что, по сравнению с прототипом, заявляемое устройство обладает более высокой чувствительностью, что обеспечивается, в первую очередь, значительным увеличением рабочего объема тонкопленочного магнитного материала, участвующего в формировании сигнала.

(57) Формула изобретения

Магнитометр на тонкой магнитной пленке, содержащий печатную плату, с

расположенным на ней СВЧ-генератором, нагрузкой которого являются СВЧ-резонаторы, тонкую магнитную пленку, амплитудные детекторы, подключенные к СВЧ-резонаторам, операционные усилители, магнитную систему, формирующую постоянное магнитное поле, отличающийся тем, что тонкая магнитная пленка находится
5 снаружи СВЧ-резонаторов, но в непосредственной близости над их индуктивными частями, которые выполнены в виде полосковых проводников на печатной плате, постоянное магнитное поле направлено вдоль оси трудного намагничивания тонкой магнитной пленки, а высокочастотное магнитное поле направлено под углом к оси легкого намагничивания, при этом направление максимальной чувствительности
10 совпадает с направлением оси легкого намагничивания.

15

20

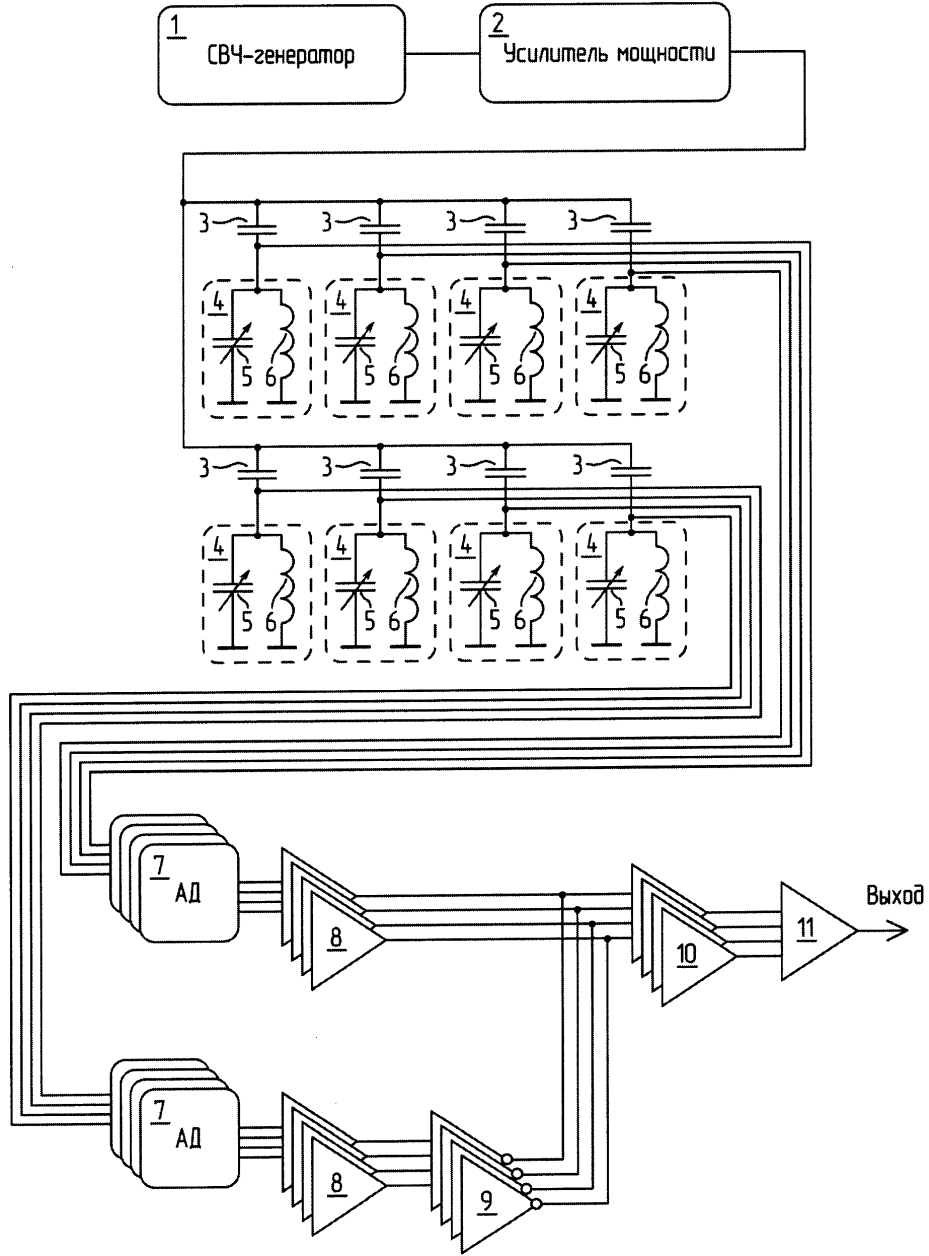
25

30

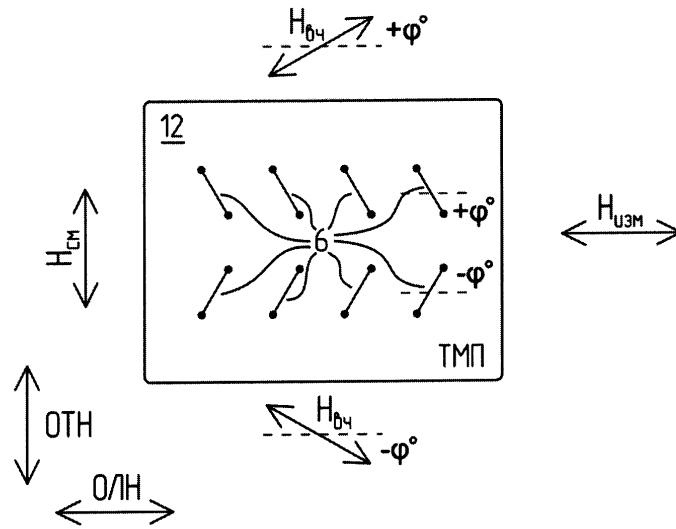
35

40

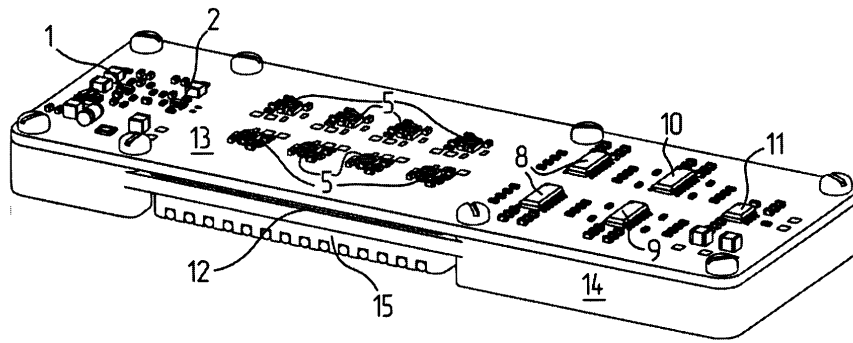
45



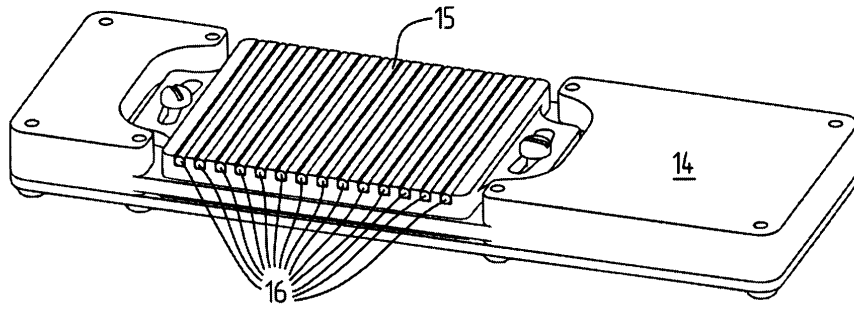
Фиг. 1



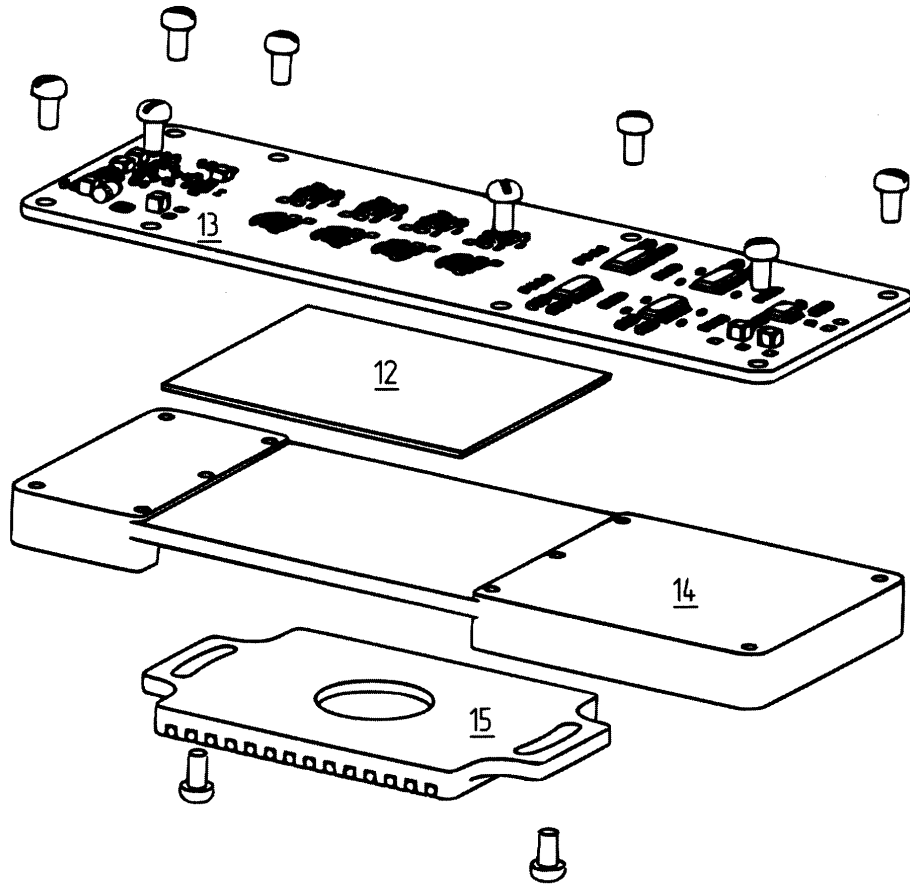
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5