



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01R 33/24 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021111990, 27.04.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.04.2021

Дата регистрации:  
02.11.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.04.2021

(45) Опубликовано: 02.11.2021 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,  
МАСТЕПАКО ЕЛЕНА ГЕННАДЬЕВНА

(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),  
Горчаковский Александр Антонович (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 2536083 C1, 20.12.2014. RU  
2682076 C1, 14.03.2019. RU 43654 U1, 27.01.2005.  
US 2020116811 A1, 16.04.2020.

(54) Датчик слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках

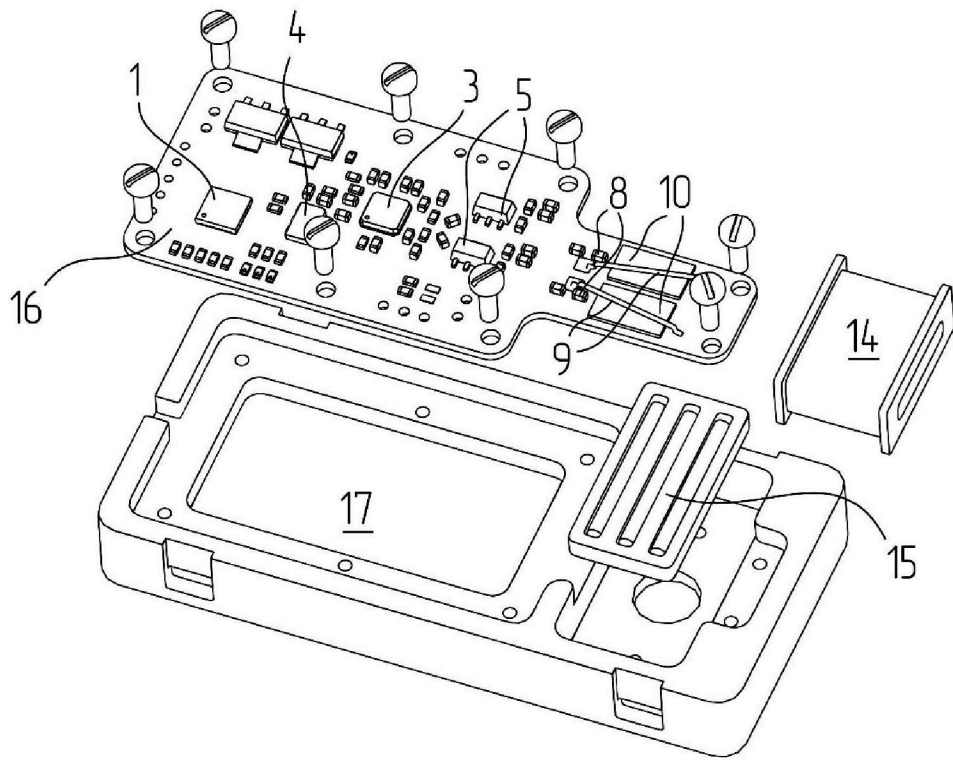
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике. Датчик слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках содержит два микрополосковых резонатора, внутри которых находятся тонкие магнитные пленки, амплитудные детекторы, схему суммирования полезных сигналов и компенсации шумов СВЧ-генератора, магнитную систему, предназначенную для формирования постоянного магнитного поля смещения, микроконтроллер,

опорный генератор, синтезатор частот, усилители мощности, причем к аналоговым входам микроконтроллера подключены сигналы с двух амплитудных детекторов, а цифровые выходы подключены к синтезатору частот, к входу которого также подключен опорный генератор, а к выходу – усилители мощности, нагруженные на микрополосковые резонаторы. Технический результат – снижение величины дрейфа нулевого значения на выходе устройства. 3 ил.

RU 2 758 817 C1

RU 2 758 817 C1



Фиг. 3



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01R 33/24 (2021.08)*

(21)(22) Application: **2021111990, 27.04.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**27.04.2021**

Registration date:  
**02.11.2021**

Priority:

(22) Date of filing: **27.04.2021**

(45) Date of publication: **02.11.2021** Bull. № 31

Mail address:  
**660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,  
MASTEPAKO ELENA GENNADEVNA**

(72) Inventor(s):

**Babitskii Aleksandr Nikolaevich (RU),  
Beliaev Boris Afanasevich (RU),  
Boev Nikita Mikhailovich (RU),  
Izotov Andrei Viktorovich (RU),  
Burmitskikh Anton Vladimirovich (RU),  
Kleshnina Sofia Andreevna (RU),  
Gorchakovskii Aleksandr Antonovich (RU),  
Shabanov Dmitrii Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyi  
issledovatel'skii tsentr "Krasnoiarskii nauchnyi  
tsentr Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii  
nauk" (RU)**

(54) **WEAK MAGNETIC FIELD SENSOR ON THIN MAGNETIC FILMS**

(57) Abstract:

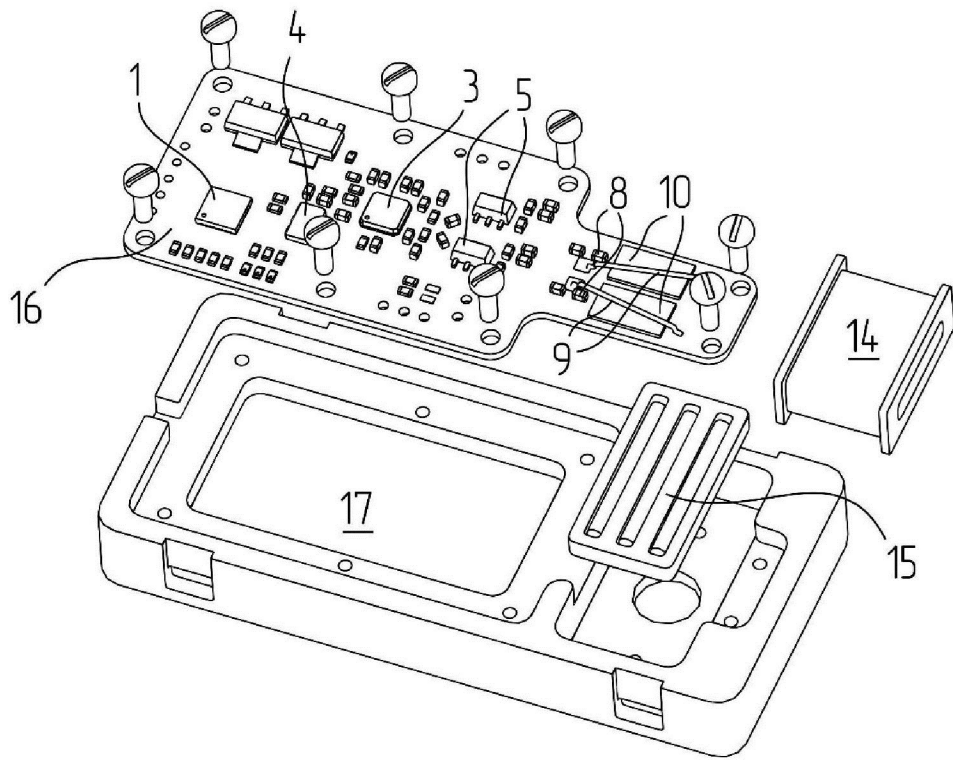
FIELD: measuring technology.

SUBSTANCE: invention relates to measuring technology. The sensor of weak magnetic fields on thin magnetic films contains two microstrip resonators, inside which there are thin magnetic films, amplitude detectors, a circuit for summing useful signals and compensating for noise of a microwave generator, a magnetic system designed to form a constant magnetic bias field, a microcontroller, a reference oscillator, a frequency synthesizer, power amplifiers, and signals

from two amplitude detectors are connected to the analog inputs of the microcontroller, and the digital outputs are connected to a frequency synthesizer, to the input of which a reference oscillator is also connected, and to the output - power amplifiers loaded onto microstrip resonators.

EFFECT: decrease in the magnitude of the drift of the zero value at the output of the device.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 3

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

Известен тонкопленочный магнитометр слабых магнитных полей [Патент РФ №2712926, МПК G01R33/05, опубл. 03.02.2020, Бюл. №4], содержащий тонкую магнитную пленку, размещенную в микрополосковом резонаторе, СВЧ-генератор, низкочастотный генератор, амплитудный детектор и синхронный детектор. Тонкая магнитная пленка, размещенная в микрополосковом резонаторе, размещается внутри двух пар ортогональных колец Гельмгольца, причем первые кольца формируют промодулированное поле смещение пленки, а вторые используются для формирования компенсационного поля. Сигнал с микрополоскового резонатора детектируется сначала амплитудным детектором, а затем синхронным детектором. Выходной сигнал синхронного детектора содержит информацию о величине измеряемого магнитного поля.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является датчик слабых высокочастотных магнитных полей [Патент РФ №2536083, G01R33/05, G01R33/24, опубл. 20.12.2014, Бюл. №35 (прототип)], содержащий 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 подается на оба СВЧ-резонатора датчика одновременно, при этом выходной сигнал датчика формируется двумя сигналами, снимаемыми одновременно с этих двух резонаторов: сигналы резонаторов суммируются, а шумы СВЧ-генератора компенсируются.

Общим недостатком известной конструкции и конструкции-прототипа является дрейф нулевого значения на выходе устройства, что вызвано температурной нестабильностью параметров радиоэлементов СВЧ-генератора и СВЧ-резонаторов.

Техническим результатом заявляемого изобретения является снижение величины дрейфа нулевого значения на выходе устройства.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в датчике слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках, содержащем два микрополосковых резонатора, внутри которых находятся тонкие магнитные пленки, амплитудные детекторы, схему суммирования полезных сигналов и компенсации шумов СВЧ-генератора, магнитную систему, предназначенную для формирования постоянного магнитного поля смещения, *новым является то, что* устройство включает микроконтроллер, опорный генератор, синтезатор частот, усилители мощности, причем к аналоговым входам микроконтроллера подключены сигналы с двух амплитудных детекторов, а цифровые выходы подключены к синтезатору частот, к входу которого также подключен опорный генератор, а к выходу – усилители мощности, нагруженные на микрополосковые резонаторы.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием синтезатора частот, вход которого подключен к стабильному генератору опорной частоты.

Существенным отличием является то, что синтезатор частот управляется по цифровому интерфейсу от микроконтроллера. Это позволяет хранить в памяти микроконтроллера настройки синтезатора частот и загружать их в синтезатор по необходимости.

Другим существенным отличием является то, что сигналы с двух амплитудных детекторов дополнительно подключены к аналоговым входам микроконтроллера, что дает возможность автоматической настройки устройства и калибровки в процессе эксплуатации.

5 Таким образом, перечисленные выше отличительные от прототипа признаки 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  
10 соответствие критерию «изобретательский уровень».

Сущность изобретения поясняется чертежами: на фиг. 1 показана функциональная схема датчика слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках; на фиг. 2 показана конструкция устройства со снятой верхней крышкой; на фиг. 3 показана конструкция датчика с разнесенными составными частями.

15 Датчик слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках содержит (фиг. 1) микроконтроллер (1), к цифровым входам которого подключены элементы управления (2), а к цифровым выходам которого подключен синтезатор частот (3). К входу синтезатора частот (3) подключен стабильный опорный генератор (4), а радиочастотный выход синтезатора частот (3) нагружен на два усилителя мощности (5), которые через  
20 емкости связи (6) нагружены на чувствительные элементы – микрополосковые резонаторы (7), включающие резонансные конденсаторы (8), полосковые индуктивности (9), внутри которых размещены тонкие магнитные пленки пермаллоя (10). К микрополосковым резонаторам (7) подключены входы амплитудных детекторов (11а, б), а их выходы подключены параллельно к двум входам сумматора (12) и к двум  
25 входам аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера (1). Амплитудный детектор (11а) включен в прямом включении, а амплитудный детектор (11б) – в инвертирующем включении. Выход сумматора (12) подключен через сопротивление обратной связи (13) к катушке обратной связи (14) и, кроме этого, выход сумматора (12) является выходом устройства. Коэффициент усиления сумматора  $K_y > 10^3$ , что  
30 позволяет реализовать компенсационный режим измерений, т. е. режим, когда внешнее измеряемое поле компенсируется компенсационным полем, формируемым катушкой обратной связи (14). Постоянное магнитное поле смещения создается одной магнитной системой (15) на основе постоянных магнитов. Тонкие магнитные пленки пермаллоя (10) размещены таким образом, что их оси трудного намагничивания (ОТН) направлены  
35 под небольшим углом к высокочастотному магнитному полю  $H_{ВЧ}$ , создаваемому полосковыми индуктивностями (9). Внешнее измеряемое поле  $H_{ИЗМ}$  и компенсационное поле  $H_{КОМП}$ , создаваемое катушкой обратной связи (14), направлены перпендикулярно ОТН. Создаваемое магнитной системой (15) постоянное магнитное поле смещения  
40  $H_{СМ}$  направлено вдоль ОТН. Радиоэлементы устройства, микрополосковые резонаторы (7) с тонкими магнитными пленками (10) размещены (фиг. 2) на печатной плате (16), закрепленной в корпусе (17). Магнитная система (15) расположена (фиг. 3) в корпусе (17) под печатной платой (16), а катушка обратной связи (14) охватывает печатную  
45 плату (16) в области размещения на ней микрополосковых резонаторов (7) с тонкими магнитными пленками (10).

Датчик слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках работает следующим образом. Рассмотрим режим настройки датчика слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках. По командам от элементов управления (2) микроконтроллер (1)

входит в режим настройки. В этом режиме микроконтроллер по цифровому интерфейсу устанавливает начальное значение выходной частоты синтезатора частот (3). Синтезатор частот (3) имеет дробный коэффициент деления, что позволяет формировать мелкий шаг сетки синтезируемых частот. Опорным сигналом синтезатора частот (3) является сигнал стабильного опорного генератора (4), частота которого, как правило, выбирается в диапазоне от 10 до 100 МГц. Выходной сигнал синтезатора частот (3) усиливается с помощью усилителей мощности (5), а затем поступает через емкости связи (6) на микрополосковые резонаторы (7), содержащие тонкие магнитные пленки (10). Начальное значение частоты возбуждения микрополосковых резонаторов (7) для тонких магнитных пленок (10) пермаллоя выбирается в диапазоне 400–800 МГц. При отсутствии внешнего измеряемого поля  $H_{ИЗМ}$  на выходах амплитудных детекторов (11а, б) наблюдается постоянные значения напряжений, которые преобразуются в цифровой вид аналого-цифровым преобразователем микроконтроллера (1). В режиме настройки устройство производит плавную подстройку выходной частоты синтезатора частот (3) до достижения максимальных значений напряжений на выходах амплитудных детекторов (11а, б), после чего найденное значение резонансной частоты сохраняется в энергонезависимую память микроконтроллера (1). При необходимости, микроконтроллер (1) может изменять настройки работы синтезатора частот в зависимости от каких-либо внешних параметров, например, температуры.

В рабочем режиме работы датчика слабых магнитных полей на основе тонких магнитных пленок микроконтроллер (1) при запуске загружает из энергонезависимой памяти значение резонансной частоты и устанавливает его в синтезаторе частот (3). Тонкие магнитные пленки одновременно находятся под воздействием следующих полей: постоянного магнитного поля смещения  $H_{СМ}$ , сформированного магнитной системой (15); высокочастотного переменного магнитного поля  $H_{ВЧ}$ , сформированного полосковыми индуктивностями (9); внешнего измеряемого поля  $H_{ИЗМ}$ ; компенсационного магнитного поля  $H_{КОМП}$ , созданного катушкой обратной связи (14). Под воздействием постоянного магнитного поля смещения  $H_{СМ}$  и высокочастотного переменного магнитного поля  $H_{ВЧ}$  в тонких магнитных пленках (10) возбуждается ферромагнитный резонанс, причем величина поглощения электромагнитной энергии микрополосковых резонаторов (7) тонкими магнитными пленками (10) существенно зависит от величины внешнего измеряемого поля  $H_{ИЗМ}$ .

Таким образом, изменение измеряемого поля  $H_{ИЗМ}$  приводит к изменению вносимых в микрополосковые резонаторы (7) потерь, что детектируется амплитудными детекторами (11а, б). Поскольку полосковые индуктивности (9) расположены под углами  $\pm\varphi^\circ$  к ОН, полезный сигнал с микрополосковых резонаторов находится в противофазе, а так как амплитудный детектор (11б) включен в инвертирующем включении, на сумматоре (12) происходит сложение полезных сигналов с двух амплитудных детекторов (11а, б), вычитание постоянной составляющей и вычитание собственных шумов синтезатора частот (3). Поскольку сумматор имеет большой коэффициент усиления, обратная связь замыкается через сопротивление обратной связи (13), катушку обратной связи (14) и через магнитное поле, за счет чего реализуется компенсационный режим измерений устройства.

Для практической проверки работоспособности заявляемого датчика слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках был изготовлен экспериментальный макет (фиг. 2, фиг. 3). Экспериментальные исследования показали, что устройство

обеспечивает меньший дрейф нулевого значения в сравнении с прототипом. Кроме этого, в устройстве реализован режим калибровки, который может быть запущен в процессе работы при существенном изменении каких-либо из внешних условий, например, температуры.

5

(57) Формула изобретения

Датчик слабых магнитных полей на тонких магнитных пленках, содержащий два микрополосковых резонатора, внутри которых находятся тонкие магнитные пленки, амплитудные детекторы, схему суммирования полезных сигналов и компенсации шумов СВЧ-генератора, магнитную систему, предназначенную для формирования постоянного магнитного поля смещения, отличающийся тем, что включает микроконтроллер, опорный генератор, синтезатор частот, усилители мощности, причем к аналоговым входам микроконтроллера подключены сигналы с двух амплитудных детекторов, а цифровые выходы подключены к синтезатору частот, к входу которого также подключен опорный генератор, а к выходу – усилители мощности, нагруженные на микрополосковые резонаторы.

20

25

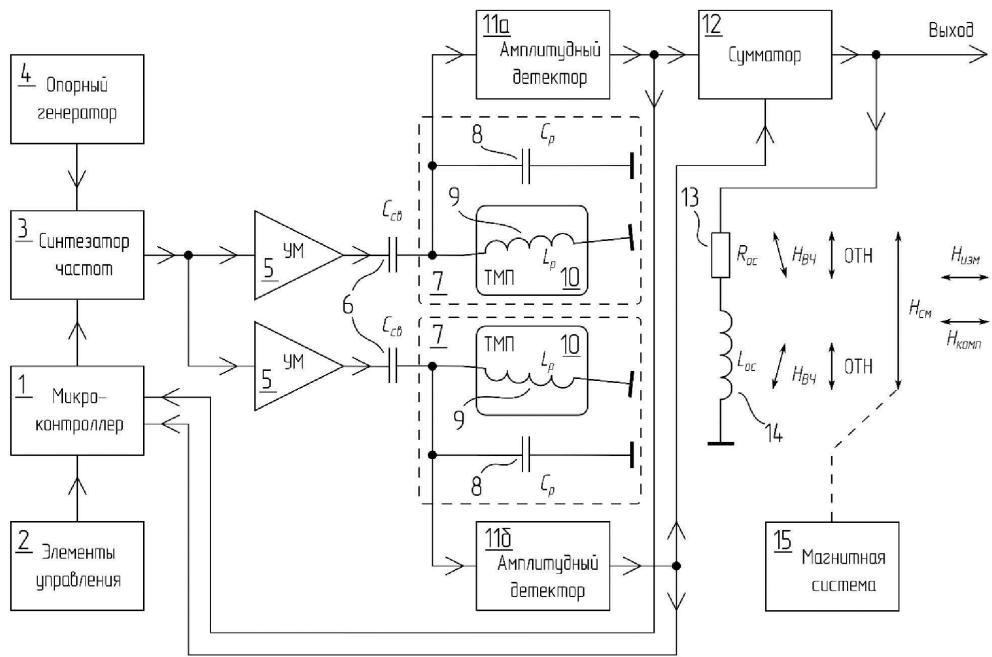
30

35

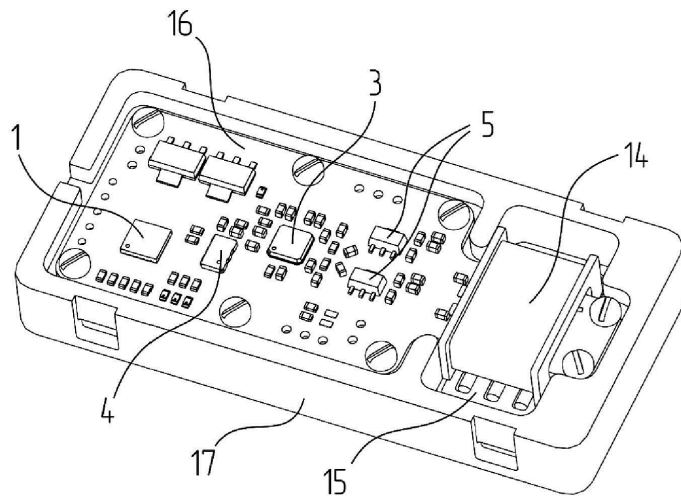
40

45

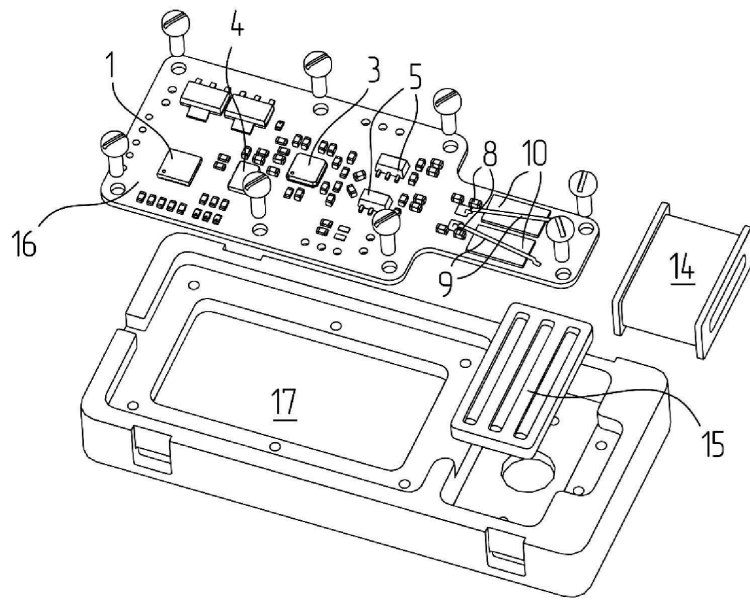




Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3