



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 29/08 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2017140736, 22.11.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.11.2017

Дата регистрации:
21.12.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.11.2017

(45) Опубликовано: 21.12.2018 Бюл. № 36

Адрес для переписки:
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР,
патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):

Филатов Александр Владимирович (RU),
Филатов Николай Александрович (RU),
Тарасов Сергей Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Томский государственный
университет систем управления и
радиоэлектроники" (ТУСУР) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2439595 C1, 10.01.2012. SU
1626210 A1, 07.02.1991. SU 1105832 A1,
30.07.1984. RU 2093845 C1, 20.10.1997.

(54) РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ В ШИРОКОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

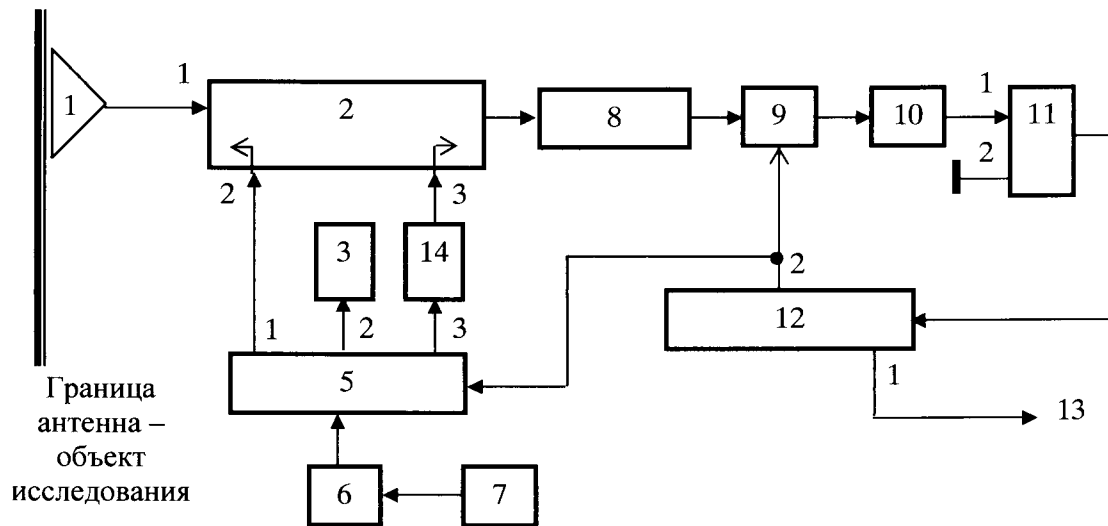
(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники и может использоваться при определении отражательных свойств искусственных и естественных покрытий и материалов различных конструкций. Радиометрический измеритель коэффициента отражения содержит антенну, подключенную к первому входу направленного ответвителя, последовательно соединенные радиометрический приемник, синхронный фильтр низких частот, фильтр высоких частот, компаратор, блок управления, причем второй вход компаратора соединен с общей шиной радиометра, первый выход блока управления является выходной шиной радиометра, его второй выход подключен к управляющему входу синхронного фильтра

низких частот и объединен с управляющим входом СВЧ-переключателя, вход которого подключен к последовательно соединенным источнику тока и генератору шума, а первый и второй его выходы соединены соответственно с согласованной нагрузкой и вторым входом направленного ответвителя. При этом в измеритель введен регулируемый аттенюатор, входом подключенный к третьему выходу СВЧ-переключателя, а выходом - к третьему входу направленного ответвителя, выход которого соединен с входом радиометрического приемника. Технический результат заключается в упрощении устройства и повышении точности измерений с учетом реальных характеристик используемых элементов во входном тракте измерителя. 3 ил.

RU 2 675 670 C1

RU 2 675 670 C1



Фиг. 2

RU 2675670 C1

RU 2675670 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 29/08 (2018.08)

(21)(22) Application: **2017140736, 22.11.2017**

(24) Effective date for property rights:
22.11.2017

Registration date:
21.12.2018

Priority:

(22) Date of filing: **22.11.2017**

(45) Date of publication: **21.12.2018** Bull. № 36

Mail address:

**634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 40, TUSUR,
patentno-informatsionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Filatov Aleksandr Vladimirovich (RU),
Filatov Nikolaj Aleksandrovich (RU),
Tarasov Sergej Evgenevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Tomskij gosudarstvennyj
universitet sistem upravleniya i radioelektroniki"
(TUSUR) (RU)**

(54) **RADIOMETRIC MEASUREMENT OF COEFFICIENT OF REFLECTION IN BROADBAND FREQUENCY**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering and communications.

SUBSTANCE: invention relates to the field of radio engineering and can be used in determining the reflective properties of artificial and natural coatings and materials of various designs. In the method, the radiometric reflectance meter contains an antenna connected to the first input of a directional coupler, a series-connected radiometric receiver, synchronous low-pass filter, high-pass filter, comparator, control unit, while the second input of the comparator is connected to the common bus of the radiometer, the first output of the control unit is the output bus of the radiometer, its second output is connected to the control input of the synchronous low-pass filter and combined with the control input of the microwave switch, whose

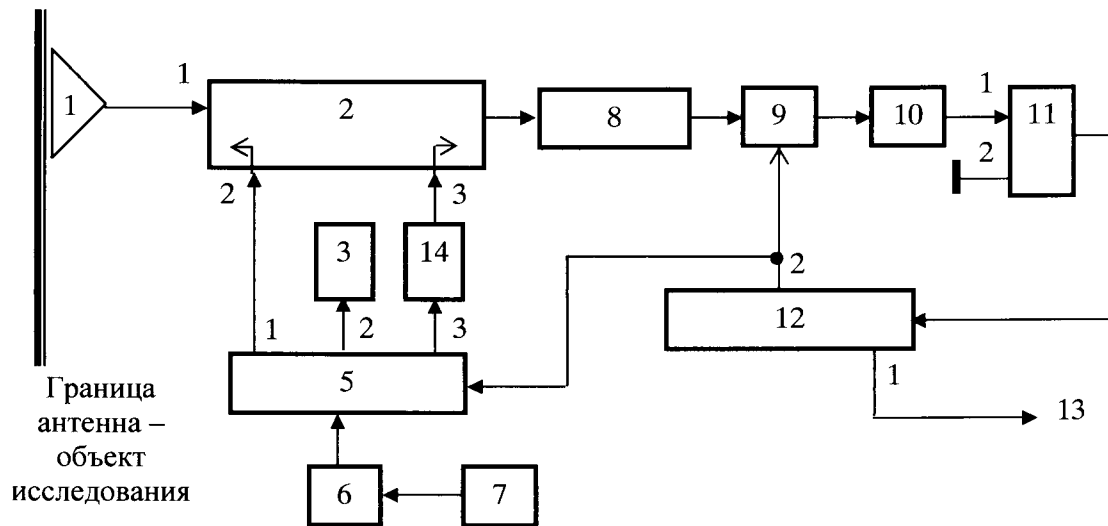
input is connected to a series-connected current source and noise generator, and its first and second outputs are connected respectively to the matched load and the second input of the directional coupler. At the same time, an adjustable attenuator is introduced into the meter, its input is connected to the third output of the microwave switch, and the output – to the third input of the directional coupler, the output of which is connected to the input of the radiometric receiver.

EFFECT: technical result consists in simplifying the device and improving the accuracy of measurements taking into account the real characteristics of the elements used in the input path of the meter.

1 cl, 3 dwg

RU 2 675 670 C1

RU 2 675 670 C1



Фиг. 2

RU 2675670 C1

RU 2675670 C1

Изобретение относится к области радиотехники и может использоваться при определении отражательных свойств искусственных и естественных покрытий и материалов различных конструкций, в ходе калибровки тепловых широкоапертурных излучателей для обеспечения единства измерений радио-яркостных температур космических и земных объектов, для оценки параметров трехкомпонентной среды 5 кожа-жир-мышцы биологической ткани в медицинских приложениях и т.д.

Известен радиометрический измеритель коэффициента отражения, выбранный в качестве прототипа [Пат. 2439595 РФ, G01R 29/08. Радиометрический измеритель коэффициента отражения / Филатов А.В., Убайчин А.В., Розина Е.И. - Заявка 2010 132 10 764/28. - Приоритет от 04.08.2010. - БИ. 2012. №1], в состав которого входят (фиг. 1) антенна 1, первый 2 и второй 4 направленные ответвители, СВЧ- переключатель 5, генератор шума 6, источник тока 7. Измерительный канал состоит из радиометрического приемника 8, синхронного фильтра низких частот 9, фильтра высоких частот 10, компаратора 11, блока управления 12, с первого выхода которого сигнал поступает 15 на выходную шину 13.

Опорный сигнал генератора шума 6 через СВЧ- переключатель 5 поступает на вторые входы идентичных направленных ответвителей. Включение первого 2 и второго 4 направленных ответвителей выполнено так, что для первого ответвителя сигнал генератора шума поступает на антенну 1, для второго - на вход радиометрического 20 приемника 8. Опорный сигнал вырабатывается полупроводниковым генератором шума с применением лавинно-пролетного диода, через активную зону которого протекает ток источника 7. СВЧ-переключатель 5 состоит из трех высокочастотных ключей. Переключатель работает в режиме селектора. В зависимости от управляющих сигналов коммутируется только один ключ и тем самым сигнал генератора шума поступает 25 только на один из трех выходов СВЧ- переключателя. В промежутки времени, когда сигнал генератора шума не должен поступать в направленные ответвители, через третий ключ СВЧ-переключателя выход генератора шума коммутируется на согласованную нагрузку 3.

На входе измерительного канала установлен радиометрический широкополосный 30 приемник 8 с линейной передаточной характеристикой, включающий высокочастотный усилитель, полосовой фильтр, квадратичный детектор, выделяющий огибающую сигналов модуляции, усилитель низких частот. Следующий элемент измерительного канала, синхронный фильтр низких частот 9 производит предварительную фильтрацию сигнала, уменьшает флуктуационную компоненту в продетектированной огибающей 35 и тем самым исключает перегрузку компаратора 11. Фильтр высоких частот 10 собран по схеме однозвенного фильтра первого порядка (представляет собой разделительную CR-цепь) с частотой среза много меньшей частоты модуляции в радиометре, и предназначен для устранения в сигнале постоянной составляющей. В результате на выходе фильтра выделяется переменная составляющая сигнала с минимальными 40 искажениями формы импульсов.

В измерителе синхронно выполняются два вида импульсной модуляции: амплитудная и широтная. Для этого в цифровом блоке управления 12 формируются два управляющих логических сигнала с длительностями $t_{\text{аим}}$ и $t_{\text{шим}}$. Сигнал для амплитудно-импульсной модуляции длительностью $t_{\text{аим}}$ имеет форму меандра, сигнал для широтно-импульсной 45 модуляции длительностью $t_{\text{шим}}$ изменяется от нуля до $t_{\text{аим}}$. Модуляции подвергается сигнал генератора шума с эффективной температурой шумов $T_{\text{гш}}$. Автоматической регулировкой длительности широтного сигнала в измерителе настраивается нулевой

баланс на входе радиометрического приемника:

$$\beta k \Delta f T_{\text{гш}} t_{\text{шим}} = \beta k \Delta f T_{\text{гш}} R t_{\text{аим}}, \quad (1)$$

где β - коэффициент переходного ослабления направленного ответвителя, R - коэффициент отражения по мощности в месте приложения антенны к объекту исследования; k - постоянная Больцмана; Δf - полоса рабочих частот измерителя. В это равенство не входят сигналы, первый из которых поступает через антенну от объекта исследования, а второй формируется из собственных шумов измерителя. Они не подвергаются модуляции и в ходе дальнейшей последетекторной обработки исключаются.

Из (1) определяем коэффициент отражения на границе антенны с объектом, который связан с длительностью широтно-импульсного сигнала линейным соотношением:

$$R = t_{\text{шим}} / t_{\text{аим}}. \quad (2)$$

Когда измеритель сбалансирован на измерения не влияют изменения коэффициента передачи радиометрического приемника (нулевой баланс) и его показания не зависят от дрейфа и низкочастотных флуктуаций сигнала генератора шума. Основное требование к этому сигналу заключается в том, что он должен сохранять свои параметры на периоде амплитудно-импульсной модуляции.

При выводе (2) использовался метод абстрагирования, когда элементы, используемые во входном узле измерителя, такие как антенна, направленные ответвители, считались идеальными и пренебрегались потери, возникающие в соединении антенны с направленным ответвителем. Поэтому, к достоинству данной схемы измерителя коэффициента отражения (прототипа) можно отнести то, что после изготовления он не требует калибровки, а к недостатку - использование во входном узле прецизионных элементов (ответвители с высокой степенью направленности, соединение антенны с ответвителем с низкими потерями, широкополосную антенну с высоким коэффициентом полезного действия). Снижение требований к узлам приведет к росту погрешности. К другому недостатку можно отнести требование высокой идентичности двух направленных ответвителей в широкой полосе частот.

Предлагаемым изобретением решается задача упрощения устройства и повышение точности измерений с учетом реальных характеристик используемых элементов во входном тракте измерителя.

Для достижения этого технического результата в радиометрический измеритель коэффициента отражения, содержащий антенну, подключенную к первому входу направленного ответвителя, последовательно соединенные радиометрический приемник, синхронный фильтр низких частот, фильтр высоких частот, компаратор, блок управления, причем второй вход компаратора соединен с общей шиной радиометра, первый выход блока управления является выходной шиной радиометра, его второй выход подключен к управляющему входу синхронного фильтра низких частот и объединен с управляющим входом СВЧ- переключателя, вход которого подключен к последовательно соединенным источнику тока и генератору шума, а первый и второй его выходы соединены соответственно с согласованной нагрузкой и вторым входом направленного ответвителя, введен регулируемый аттенюатор, входом подключенный к третьему выходу СВЧ- переключателя, а выходом - к третьему входу направленного ответвителя, выход которого соединен с входом радиометрического приемника.

На фиг. 1 показана структурная схема прототипа.

На фиг. 2 представлена структурная схема предлагаемого измерителя коэффициента

отражения.

На фиг. 3 приведена упрощенная схема входного блока измерителя с параметрами элементов входящих в него узлов.

В состав радиометрического измерителя коэффициента отражения входят (фиг. 2) антенна 1, направленный ответвитель 2, СВЧ-переключатель 5 не отражающего типа, генератор шума 6, источник тока 7. Измерительный канал состоит из приемника 8, синхронного фильтра низких частот 9, фильтра высоких частот 10, компаратора 11, блока управления 12, с первого выхода которого сигнал поступает на выходную шину 13.

Сигнал генератора шума 6 через СВЧ- переключатель 5 проходит на второй и третий входы направленного ответвителя. На второй вход непосредственно, а на третий вход через регулируемый аттенюатор 14. Аттенюатор введен в измеритель для настройки его передаточной характеристики в процессе калибровки, которая будет описана ниже.

Ответвитель противонаправленного типа имеет симметричную структуру. При поступлении сигнала генератора шума на вход 2 ответвителя, далее этот сигнал распространяется в сторону антенны. В это время вход 3 ответвителя согласован на выходном сопротивлении аттенюатора. Если сигнал генератора шума через аттенюатор 14 поступает на вход 3 направленного ответвителя, далее он распространяется в сторону радиометрического приемника. При этом другой вход ответвителя (вход 2) согласован на выходном сопротивлении СВЧ-переключателя не отражающего типа.

Измерительный канал и блок управления измерителя полностью идентичны прототипу.

На фиг. 3 приведена упрощенная структурная схема входного блока измерителя коэффициента отражения, на которой нанесены параметры входящих в блок узлов, учитывающие конечную направленность ответвителя, потери в соединении антенны с направленным ответвителем и в самой антенне аппликаторного типа, расположенной непосредственно на объекте исследования. Эти элементы вносят основную погрешность в измерения.

Принцип работы измерителя, также, как и в прототипе, заключается в синхронном выполнении двух видов импульсной модуляции: амплитудной и широтной. В результате, в измерителе устанавливается нулевой баланс, определяемый соотношением:

$$\begin{aligned} [k\Delta f T_{\text{гш}} \beta_1 \gamma \alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1) R + k\Delta f T_{\text{гш}} \beta \gamma] t_{\text{шим}} = \\ [k\Delta f T_{\text{гш}} \beta \gamma \alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1) R + k\Delta f T_{\text{гш}} \beta_1] t_{\text{аим}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где β и β_1 - коэффициенты переходного ослабления противонаправленного ответвителя при поступлении сигнала генератора шума $T_{\text{гш}}$ из основного канала во вспомогательный в прямом и обратном направлениях, $\beta > \beta_1$ (для идеального направленного ответвителя $\beta_1 = 0$); α - коэффициент затухания сигнала в линии, соединяющей антенну с направленным ответвителем, равен единице в случае отсутствия потерь в линии и нулю при полном ослаблении сигнала; η - коэффициент полезного действия антенны, характеризующий возникающие в ней активные потери; γ - коэффициент ослабления сигнала генератора шума в аттенюаторе.

Откуда коэффициент отражения в месте приложения антенны к объекту исследования равен:

$$R = (\beta \gamma t_{\text{шим}} - \beta_1 t_{\text{аим}}) / (\beta t_{\text{аим}} - \beta_1 \gamma t_{\text{шим}}) [\alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1)]. \quad (4)$$

В ходе анализа равенства (4) установлено, что максимальные погрешности измерения

R возникают на краях диапазона. Причем, для максимальной границы, то есть для $R=1$, погрешность имеет положительный знак, а для минимальной, $R=0$, - отрицательный.

Соответственно, с учетом погрешности коэффициент отражения на границах шкалы измерений будет равен:

$$R_{(0)} = -\beta_1 / \beta [\alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1)] \quad \text{для } t_{\text{шим}} = 0, \quad (5)$$

$$R_{(1)} = \beta\gamma - \beta_1 / (\beta - \beta_1\gamma) [\alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1)] \quad \text{для } t_{\text{шим}} = t_{\text{аим}}. \quad (6)$$

Коэффициент затухания аттенюатора входит в (6) для $R_{(1)}$. Следовательно, настройкой γ (в процессе калибровки) можно получить $R_{(1)}=1$, то есть устранить погрешность измерений для максимальной границы шкалы. Подставляя в (6) вместо $R_{(1)}$ единицу и решая равенство относительно коэффициента ослабления сигнала аттенюатором получим:

$$\gamma = \{\beta [\alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1)] + \beta_1\} / \{\beta + \beta_1 [\alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1)]\}. \quad (7)$$

Для примера, задаваясь значениями $\alpha=0,891$ (-0,5 дБ), $\eta=0,95$, $\beta=0,1$, $\beta_1=0,005$ получим $\gamma=0,694$. Таким образом, настроив аттенюатор на полученное значение коэффициента ослабления сигнала генератора шума, тем самым устраним погрешность в конце шкалы преобразования. Регулировка аттенюатора осуществляется в процессе калибровки. Для этого к антенне прикладывается идеальный отражатель (гладкий металлический лист) и длительность широтно-импульсного сигнала устанавливается равной длительности импульса амплитудно-импульсной модуляции, $t_{\text{шим}}=t_{\text{аим}}$. Регулировку производят до установления нулевого баланса на входе радиометрического приемника

$$[k\Delta f T_{\text{гш}} \beta_1 \gamma \alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1) R + k\Delta f T_{\text{гш}} \beta \gamma] t_{\text{аим}} = [k\Delta f T_{\text{гш}} \beta \gamma \alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1) R + k\Delta f T_{\text{гш}} \beta_1] t_{\text{аим}},$$

который фиксируется на выходе компаратора 11. На этом выходе в момент наступления нулевого баланса будут случайные переходы между состояниями логического нуля и единицы.

Погрешность в начале шкалы преобразования имеет отрицательный знак, не зависит от u и, как следует из (5), определяется только отношением коэффициентов переходного ослабления ответвителя в прямом и обратном направлениях (степенью развязки в ответвителе). Модуль этого отношения равен:

$$(\beta / \beta_1) = 1 / R_{(0)} [\alpha^2 \eta^2 (1-\beta-\beta_1)]. \quad (8)$$

Рассмотрим пример. Если принять погрешность в начале измерительной шкалы равной 0,1, тогда для двух значений β , равных 0,1 (-10 дБ) и 0,05 (-13 дБ) из (13) получим $\beta_1=0,0072$ (-21,43 дБ) и $\beta_1=0,0036$ (-24,45 дБ). Для другого значения погрешности, например, 0,05 при тех же значениях коэффициента переходного ослабления β , получим для β_1 0,0036 и 0,0018, что соответственно составляет -24,43 и -27,47 дБ. Таким образом, погрешность в начале шкалы преобразования определяется величиной развязки в направленном ответвителе и при ее увеличении (уменьшении P_i) снижается.

В радиометрическом измерителе высокочастотные пассивные устройства выполнены на микрополосковых волноведущих структурах. СВЧ-переключатель создан с использованием выпускаемых фирмой NEC ключей на три направления (SP3T), таких как UPG2227T5F. В литературе достаточно полно описаны конструкции СВЧ-узлов, направленные ответвители, переключатели, полосовые фильтры и методы их расчетов [например, Мазепова О.И., Мещанов В.П., Прохорова Н.Н. и др. Под ред. Фельдштейна А.А. Справочник по элементам полосковой техники. - М.: Связь, 1979. - 336 с.]. В

приемнике применены транзисторные усилители.

Таким образом, в отличие от прототипа, схема предлагаемого радиометрического измерителя коэффициента отражения имеет более простую структуру (вместо двух идентичных направленных ответвителей используется один), упрощена конструкция.

5 В измерителе выполняется одноточечная калибровка с использованием введенного в схему регулируемого аттенюатора, что позволяет свести погрешность в конце шкалы преобразования к нулю и тем самым повысить точность измерений.

(57) Формула изобретения

10 Радиометрический измеритель коэффициента отражения, содержащий антенну, подключенную к первому входу направленного ответвителя, последовательно соединенные радиометрический приемник, синхронный фильтр низких частот, фильтр высоких частот, компаратор, блок управления, причем второй вход компаратора соединен с общей шиной радиометра, первый выход блока управления является
15 выходной шиной радиометра, его второй выход подключен к управляющему входу синхронного фильтра низких частот и объединен с управляющим входом СВЧ-переключателя, вход которого подключен к последовательно соединенным источнику тока и генератору шума, а первый и второй его выходы соединены соответственно с согласованной нагрузкой и вторым входом направленного ответвителя, отличающийся
20 тем, что в измеритель введен регулируемый аттенюатор, входом подключенный к третьему выходу СВЧ-переключателя, а выходом - к третьему входу направленного ответвителя, выход которого соединен с входом радиометрического приемника.

25

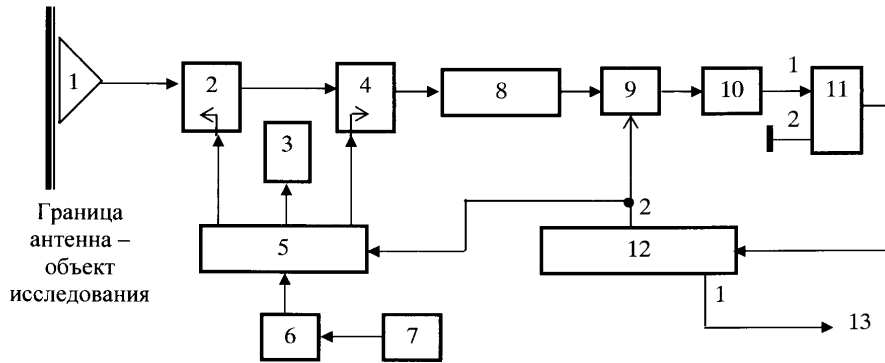
30

35

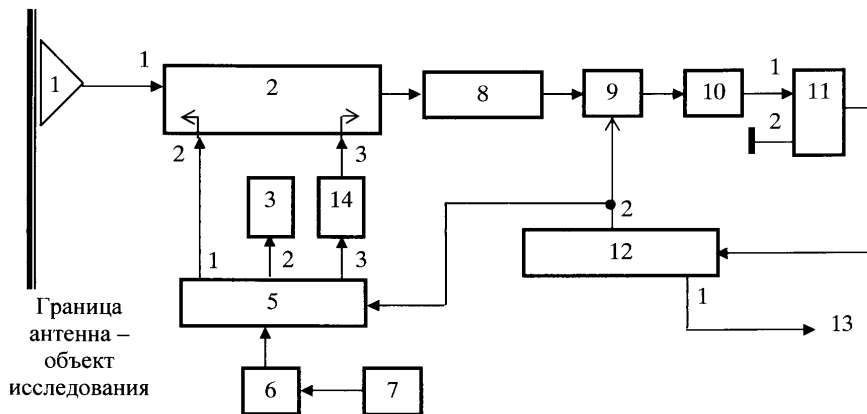
40

45

Радиометрический измеритель
коэффициента отражения
в широкой полосе частот



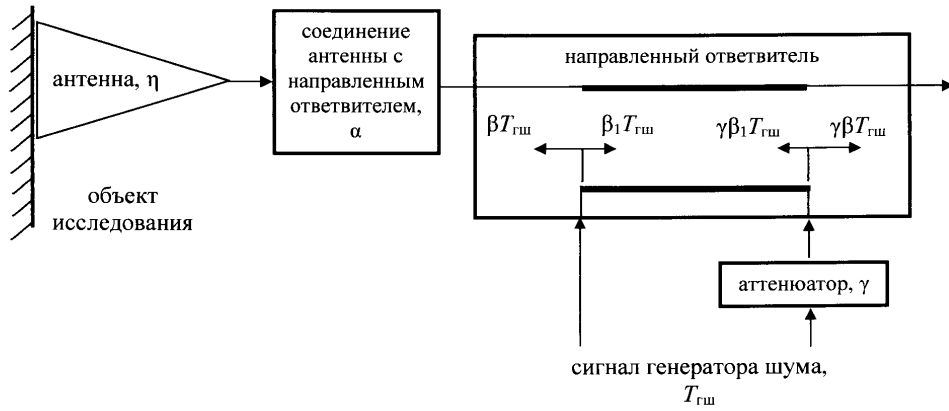
Фиг. 1



Фиг. 2

Авторы
Филатов А.В., Филатов Н.А., Тарасов С.Е.

Радиометрический измеритель
коэффициента отражения
в широкой полосе частот



Фиг. 3

Авторы
Филатов А.В., Филатов Н.А., Тарасов С.Е.