

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038525**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.09.09**

(21) Номер заявки  
**202000105**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.02.11**

(51) Int. Cl. **G01R 29/10** (2006.01)  
**G01R 27/02** (2006.01)  
**G01R 27/06** (2006.01)

---

(54) **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ  
ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СВЧ УСТРОЙСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

---

(43) **2021.08.31**

(96) **2020/ЕА/0005 (ВУ) 2020.02.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
"БЕЛОРУССКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ" (ВУ)**

(56) RU-C1-2442181  
RU-C1-2620961  
RU-C1-2421744  
RU-C1-2364878

(72) Изобретатель:  
**Свирид Максим Сергеевич,  
Гусинский Александр Владимирович,  
Луферов Алексей Николаевич,  
Кондрашов Денис Александрович,  
Кострикин Анатолий Михайлович  
(ВУ)**

---

(57) Изобретение относится к области радиотехники и может быть использовано для пространственных измерений радиотехнических характеристик приемопередающих устройств и диэлектрических материалов. Поставленная задача - автоматизация процесса измерений с целью повышения их точности, расширение функциональных возможностей автоматизированной системы - достигается тем, что подсистема приемника снабжена приемопередатчиком, опорно-поворотным устройством с тремя степенями свободы, антенной системой, состоящей из четырёх антенн, причем между антеннами и приемопередатчиками подсистем приемника и передатчика включено устройство автокалибровки, приемником, имеющим восемь каналов, приемопередатчиком подсистемы приемника с четырьмя направленными ответвителями, генератором. Кроме того, подсистема передатчика содержит приемопередатчик, который, в свою очередь, снабжен направленным ответвителем и генератором.

**B1**

**038525**

**038525**

**B1**

Изобретение относится к области радиотехники и может быть использовано для пространственных измерений радиотехнических характеристик приемопередающих устройств и диэлектрических материалов.

Известен измеритель пеленгационных характеристик систем "антенна-обтекатель" [1], который содержит поворотный стенд с установленными на нем пеленгационной антенной, обтекателем и датчиком угла поворота обтекателя, измерительные каналы и блоки обработки сигналов, блок формирования вариантов, входы которого соединены с выходами устройств выборки и хранения, блок определения коэффициентов разложения пеленгационной характеристики для различных вариантов и блок выбора оптимального варианта, выходы которого соединены с входами блока решений системы п линейных уравнений для пеленгационной характеристики, при этом СВЧ детекторы измерителя отношения разностного сигнала к суммарному сигналу подключены непосредственно к выходам пеленгационной антенны и обеспечивают измерение радиотехнических характеристик антенн. Недостатком измерителя является низкий уровень автоматизации процесса измерений радиотехнических характеристик антенн.

Известен способ измерения коэффициента усиления антенны радиолокационной станции [2], использующий пеленгационную антенну, обтекатель, поворотный стенд, датчик угла поворота, пять вспомогательных антенн и генератор сверхвысокой частоты. Недостатками способа являются ограниченное количество видов измерений, которые можно осуществить; ограничение подвижности элементов измерительной системы из-за дрейфа амплитудно-фазовых параметров кабеля в результате движения частей системы.

Известен измеритель комплексных параметров СВЧ устройств [3], который включает персональный компьютер, единый генератор СВЧ сигналов, две составные части измерительного тракта (подсистемы приемника и передатчика), измерительное устройство. Недостатками измерителя являются низкая степень автоматизации измерений, малое расстояние между двумя частями измерительной системы и ограниченная функциональность.

Наиболее близкой по технической сущности к предлагаемому изобретению является автоматизированная система измерений радиотехнических характеристик головок самонаведения (ГСН) ракет [4], включающая дистанционно управляемое двухкоординатное опорно-поворотное устройство (ОПУ) содержащее датчики углового положения обтекателя по курсу " $\alpha$ " и тангажу " $\beta$ ", измерительная антенна установлена на координатное устройство, и датчики положения измерительной антенны по координатам "X" и "Y", входы дистанционно управляемых приводов и выходы датчиков положения измерительной антенны подключены через интерфейсные шины к соответствующим выходам и входам управляющего компьютера, измерительная антенна установлена на координатное устройство. Измерительная антенна подключена к выходу программно-управляемого генератора - источника зондирующих излучений, суммарный и разностные выходы антенны ГСН подключены к соответствующим входам двух измерительных устройств, обеспечивающих измерение амплитудно-фазовых соотношений сигналов с выходов разностных каналов антенны ГСН по отношению к сигналам с суммарного выхода антенны ГСН, а также к третьему измерительному устройству, обеспечивающему измерение относительных значений амплитуды сигнала с суммарного выхода антенны ГСН по отношению к амплитуде опорного сигнала, ответственного от выхода генератора - источника зондирующего излучения, выходы датчиков  $\alpha$  и  $\beta$  ОПУ и выходы трех измерительных устройств подключены через интерфейсные шины к управляющему компьютеру измерительной системы, управляющие выходы которого подключены к входам  $\alpha$  и  $\beta$  дистанционно управляемых приводов ОПУ, а также к входу программно-управляемого генератора.

Недостатками системы являются отсутствие средств, нивелирующих нестабильность амплитудно-фазовых параметров кабеля при передвижении передатчика, что приводит к снижению точности измерений и необходимости осуществления калибровки перед каждым измерением; малое количество каналов приемника и измеряемых радиотехнических характеристик, что ограничивает функциональные возможности приемной антенны; необходимость производить переустановку пеленгационной антенны ГСН вручную.

Задача предлагаемого изобретения - автоматизация процесса измерений с целью повышения их точности, расширение функциональных возможностей автоматизированной системы.

Решение задачи достигается тем, что в состав автоматизированной системы входят персональный компьютер (ПК), генератор опорной частоты, подсистема приемника, включающего двухкоординатное опорно-поворотное устройство, блок управления опорно-поворотным устройством, четыре антенны, установленные на опорно-поворотном устройстве и подключенные к устройству автокалибровки, приемопередатчик, состоящий из четырех направленных ответвителей, генератора и приемника, подсистема передатчика, включающего координатное устройство, антенну, подключенную к устройству автокалибровки, приемопередатчик, состоящий из направленного ответвителя, генератора, приемопередатчика. При этом подсистема приемника содержит приемопередатчик для обеспечения двунаправленных измерений; опорно-поворотное устройство с одной дополнительной степенью свободы, что увеличивает автоматизацию; антенную систему, состоящую из четырех антенн, для осуществления измерений в цифровом виде, причем между антеннами и приемопередатчиками подсистем приемника и передатчика допол-

нительно включено устройство автокалибровки, что позволяет устранить погрешности из-за нестабильности амплитудно-фазовых параметров кабеля и обеспечить автоматизацию процесса калибровки; приемник с дополнительными пятью каналами, что обеспечивает расчет пеленгационных ошибок в цифровом виде, преобразование частоты принимаемых сигналов на промежуточную частоту, оцифровку вычисления S-параметров; приемопередатчик подсистемы приемника с четырьмя направленными ответвителями для разделения входных и выходных сигналов по четырем каналам; генератор для осуществления излучения сигнала; подсистему передатчика с приемопередатчиком для обеспечения двунаправленных измерений, при этом приемопередатчик имеет направленный ответвитель, что позволяет разделить входные и выходные сигналы по четырем каналам; и генератор для излучения сигнала в пространство и формирования сложных радиотехнических сигналов.

Сопоставительный анализ с прототипом указывает на то, что заявленная автоматизированная система отличается наличием новых функциональных узлов, расширяющих ее функциональное назначение: устройства автоматической калибровки (УАК) и приемопередатчиков, генератора и направленных ответвителей, что обеспечивает повышение точности измерений, расширение функционального назначения системы и увеличение степени автоматизации измерений. Увеличение количества каналов приемника и передатчиков, замена отдельных элементов приемника и передатчика на блоки приемопередатчиков позволяют из односторонней измерительной системы реализовать двунаправленную измерительную систему, представляющую собой разнесенный в пространстве многопортовый векторный анализатор цепей. Кроме того, применение УАК позволяет увеличить точность измерений и повысить степень их автоматизации, что обеспечивается увеличением количества степеней свободы опорно-поворотного устройства.

Автоматизированная система пространственных измерений характеристик радиотехнических СВЧ устройств и материалов (фиг. 1) содержит ПК 1, управляющий работой системы; генератор опорной частоты 2 (100 МГц), синхронизирующий работу генераторов подсистем приемника 3 и передатчика 4; подсистему приемника 3, включающую дистанционно управляемое трехкоординатное опорно-поворотное устройство (ОПУ) 5 с тремя степенями свободы и датчиками углового положения; четыре антенны 6-9, установленные на ОПУ 5 с возможностью изменения азимута, угол места, поляризации, выходы которых подключены ко входам устройств автоматической калибровки 10-14, обеспечивающих автоматизацию процесса калибровки и уменьшающих составляющие погрешностей измерений из-за нестабильности амплитудно-фазовых параметров кабеля в результате движения частей системы, выходы которых подключены к приемопередатчику 15; приемопередатчик 15, имеющий четыре канала на передачу и восемь каналов на прием, подключенный к ПК 1 и состоящий из четырех направленных ответвителей 16-19 и восьмиканального приемника 20, обеспечивающего преобразование частоты принимаемых сигналов на промежуточную частоту, оцифровку и математическую обработку - вычисление S-параметров; генератора 21; блок управления ОПУ 22, подключенный к ПК 1; подсистему передатчика 4, включающую координатное устройство 23 с датчиками линейного перемещения и возможностью перемещения в плоскости "ХУ"; антенну 24, закрепленную на координатном устройстве 23 и подключенную ко входу УАК 25; УАК 25, подключенный к приемопередатчику 26; приемопередатчик 26, подключенный к ПК 1 и содержащий направленный ответвитель 27, двухканальный приемник 28 и генератор 29, обеспечивающий формирование сигналов сложной формы в СВЧ диапазоне; блок управления координатным устройством 30, подключенный к ПК 1.

В Научно-образовательном инновационном центре СВЧ технологий и их метрологического обеспечения Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники разработана и изготовлена измерительная система, реализующая изобретение. Изготовленная система (фиг. 2) имеет четыре режима работы.

1) Режим исследования параметров радаров. Режим позволяет осуществлять следующие измерения: функциональное тестирование радара; имитация радиолокационной обстановки; тестирование передающей части радара; тестирование приемной части радара. В этом режиме тестируемый радар устанавливается на опорно-поворотное устройство 5 (фиг. 3). Эталонный приемопередатчик 4, установленный на координатном устройстве 23 (фиг. 4), формирует сложный модулированный сигнал, имитирующий эхосигналы целей, мешающих отражений, шум, активную шумовую помеху, дальность до цели. Управление двухкоординатным устройством 23 посредством специального программного обеспечения позволяет имитировать перемещение цели по углу-места и азимуту. Перемещение в плоскости и изменение параметров сложного модулированного сигнала по заранее сформированному сценарию на ПК 2 (фиг. 5) и загруженного в память излучающего приемопередатчика 26 позволяет имитировать маневры цели или целей в различной радиолокационной обстановке. В случае установки на опорно-поворотное устройство 5 четырех эталонных приемопередатчиков 15, работающих в режимах приемника при измерениях и приемопередатчиков в режиме калибровок, реализуется режим проверки радиолокационных алгоритмов, таких как когерентное и некогерентное накопление, свертка сигналов, подавление мешающих отражений, компенсация частоты Доплера, комплексная коррекция сигналов каналов.

2) Режим измерения параметров антенн, который заключается в установке эталонной антенны на координатном устройстве 23 (фиг. 4) соосно с испытываемой антенной, располагаемой на опорно-поворотном устройстве 5 (фиг. 3), и ее автоматизированном перемещении по азимуту и углу-места в за-

данных пределах с измерением параметров отражения и передачи (фиг. 5). Режим позволяет осуществлять измерения следующих параметров: диаграмма направленности; ширина главного лепестка диаграмма направленности; уровень боковых лепестков; КУ; коэффициент стоячей волны по напряжению (S22); поляризационные характеристики.

3) Режим исследования диэлектрических материалов, в том числе обтекателей, заключается в соосной установке эталонных антенн и исследуемого материала на опорно-поворотном устройстве 5 (фиг. 3). Режим позволяет осуществлять измерения следующих параметров: коэффициенты отражения S11, S22, коэффициенты передачи S21, S12; диэлектрическая проницаемость; эффективная плотность рассеяния объекта измерения.

4) Режим калибровки, или технологический режим метрологической аттестации установки, при котором находятся параметры УАК.

Первичная калибровка СВЧ тракта заключается в предварительном измерении S-параметров составных частей (элементов) СВЧ тракта системы, в том числе параметров антенн, и сохранение в памяти ПК измеренных значений для расчета первоначальной математической модели СВЧ тракта. Первичная калибровка помимо малосигнальных измерений позволяет учитывать нелинейные характеристики СВЧ тракта.

Вторичная калибровка заключается в уточнении математической модели СВЧ тракта относительно заводской калибровки. Проводится при демонтированных антеннах с использованием стандартных коаксиальных мер (в диапазоне частот 2-18 ГГц) и волноводных мер (в диапазоне частот 18-300 ГГц). Для каждого состояния электронно-управляемого УАК измеряются свои S-параметры.

Режим автоматической калибровки проводится периодически в процессе работы предлагаемой автоматизированной системы пространственных измерений. Автоматическая калибровка осуществляется при измерении параметров электронно-управляемым УАК и предназначена для устранения погрешностей измерения, связанных с временным и температурным уходом параметров элементов СВЧ тракта, изменением параметров кабелей в связи с их пространственным перемещением [5].

#### Литература

1. Измеритель пеленгационных характеристик систем антенна-обтекатель: пат. 2442181 РФ, ПМК G01R29/10, Н01Q1/42, Столбовой В.С., Турко Л.С., Залетин П.В.; заявитель ОАО "Московский научно-исследовательский институт "АГАТ". - № 2010132375/07; заявл. от 2.08.2010; опубл. 2.10.2012.

2. Способ измерения коэффициента усиления антенны радиолокационной станции: пат. 2382370 РФ, ПМК G01R29/10, Чертков Д.В., Нефедьев В.М., Берлов В.В., Марухненко В.Ю., Дегтярев С.В.; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Курский научно-исследовательский институт" Министерства обороны Российской Федерации. - № 2008147662/09; заявл. от 2.12.2008; опубл. 20.02.2010.

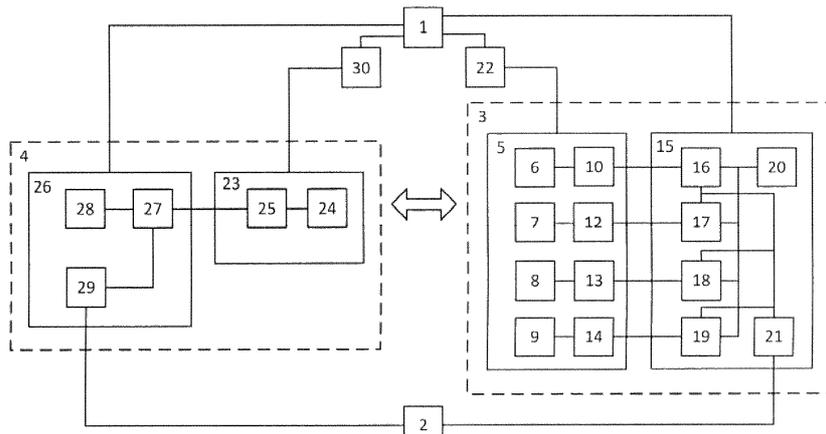
3. Измеритель комплексных параметров свч-устройств: Пат. ВУ 6193 С1 РБ, ПМК G 01R 27/02, Гусинский А.В.; Кострикин А.М.; заявитель Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники". - № а 19980615; заявл. от 1.07.1998; опубл. 30.06.2004.

4. Автоматизированная система измерений радиотехнических характеристик головок самонаведения ракет: пат. 2526495 РФ, ПМК G01R29/00, Калик Н.А., Страхов А.Ф.; заявитель Открытое акционерное общество "Головной центр сервисного обслуживания и ремонта Концерн ПВО "Алмаз-Антей" "Гранит". - № 2012146997/26; заявл. от 6.11.2012; опубл. 20.05.2014.

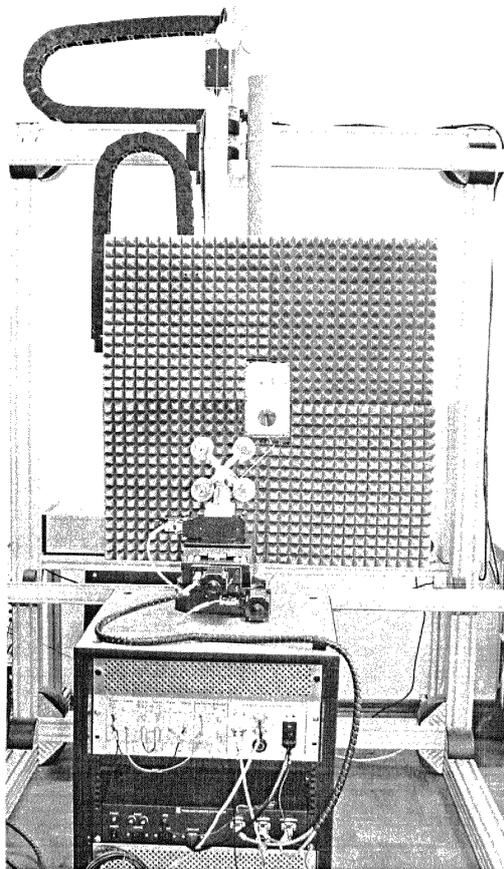
5. Svirid, M.S "Автоматическая калибровка векторного анализатора цепей от 2 до 8 ГГц" // M.S. Svirid, A.V. Gusinski, A.M. Kostrikin, M.J. Deriabina, J.A. Gusynina, I.I. Aliabyeva / Материалы "15th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology", Sevastopol, Crimea, Ukraine: IEEE, - Vol. 2. - 2005. - pp. 745-746.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Автоматизированная система пространственных измерений характеристик радиотехнических СВЧ устройств и материалов, содержащая персональный компьютер, генератор опорной частоты, подсистемы приемника, включающего двухкоординатное опорно-поворотное устройство, блок управления опорно-поворотным устройством, четыре антенны, установленные на опорно-поворотном устройстве и подключенные к устройству автокалибровки, приемопередатчик, состоящий из четырех направленных ответвителей, генератора и приемника, подсистемы передатчика, включающего координатное устройство, антенну, подключенную к устройству автокалибровки, приемопередатчик, состоящий из направленного ответвителя, генератора, приемопередатчика, отличающаяся тем, что подсистема приемника включает приемопередатчик, опорно-поворотное устройство с одной дополнительной степенью свободы, антенную систему, состоящую из четырех антенн, причем между антеннами и приемопередатчиками подсистемы приемника и передатчика дополнительно включено устройство автокалибровки, приемник, имеющий дополнительно пять каналов, приемопередатчик подсистемы приемника с четырьмя направленными ответвителями, генератор, причем подсистема передатчика содержит приемопередатчик, который, в свою очередь, снабжен направленным ответвителем и генератором.

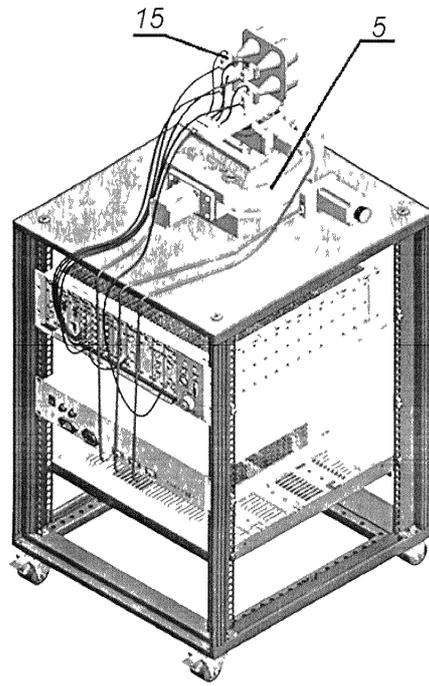


Фиг. 1

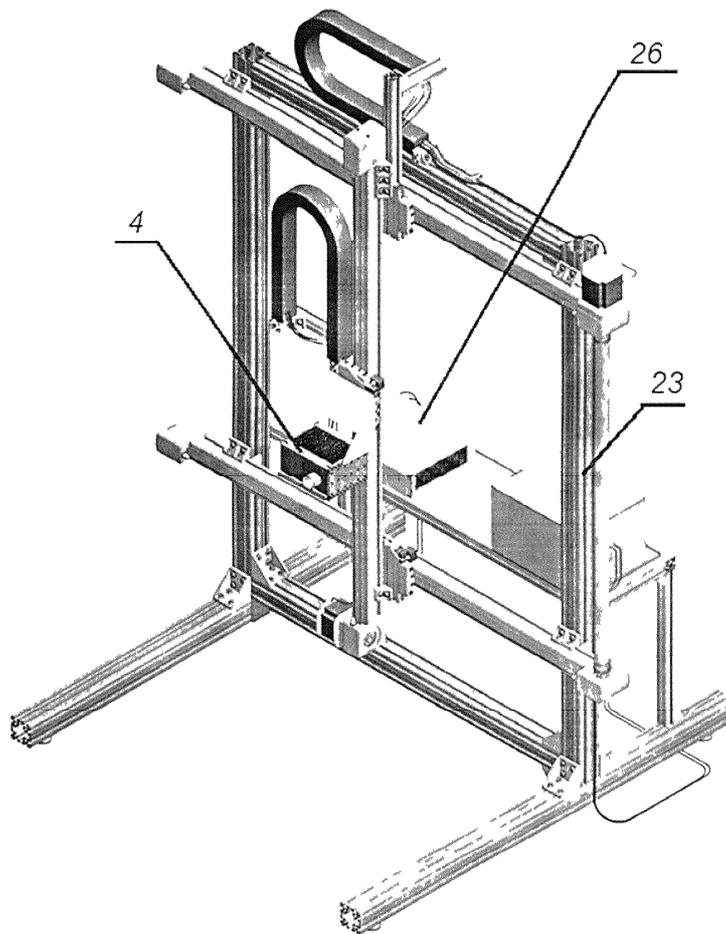


Фиг. 2

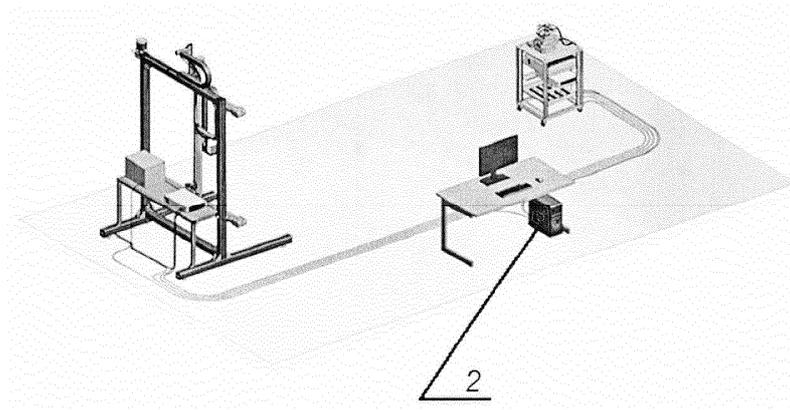
038525



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2

---