



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 27/26 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017127063, 19.07.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.07.2017

Дата регистрации:
05.07.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.07.2017

(45) Опубликовано: 05.07.2018 Бюл. № 19

Адрес для переписки:
656049, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, ФГБОУ ВО
"Алтайский государственный университет",
отдел охраны интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Молостов Илья Петрович (RU),
Щербинин Всеволод Владиславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Алтайский государственный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 119124 U1, 10.08.2012. RU 90911
U1, 20.01.2010. RU 2509315 C2, 10.03.2014. RU
2474830 C1, 10.02.2013. US 20070090846 A1,
26.04.2007.

(54) Способ измерения частотного спектра комплексной диэлектрической проницаемости

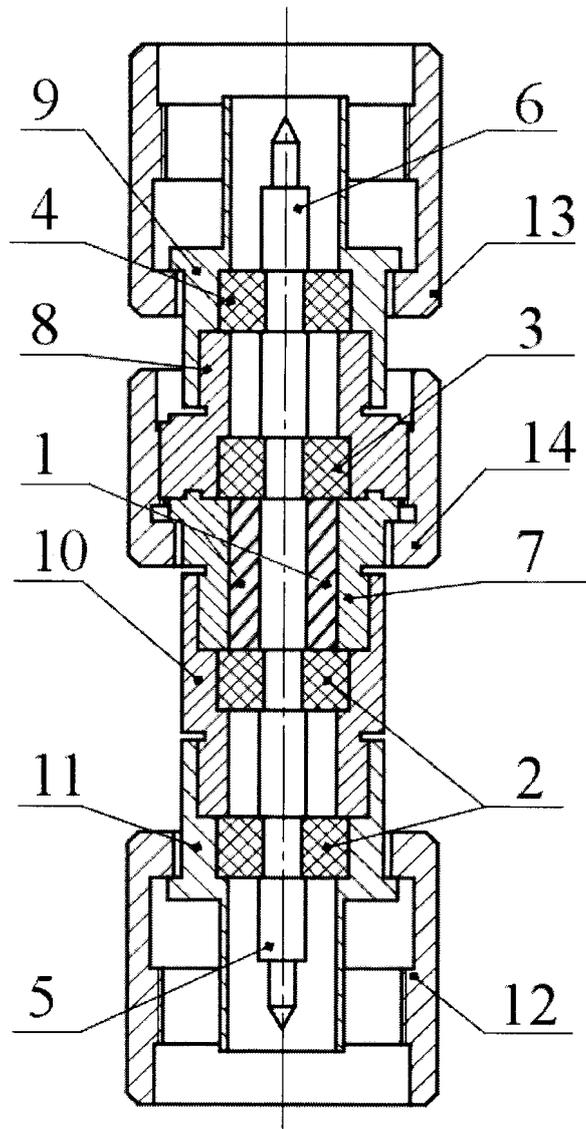
(57) Реферат:

Использование: для проведения измерений частотных спектров комплексной диэлектрической проницаемости веществ в диапазоне частот от 0,01 до 15 ГГц. Сущность изобретения заключается в том, что способ измерения частотного спектра комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,01 до 15 ГГц основан на измерении и вычислении частотных спектров каскадно-специфических матриц рассеяния, включает: измерение характеристик коаксиальной измерительной ячейки, заполненной эталонным веществом с известным частотным спектром комплексной диэлектрической проницаемости; нахождение характеристик отрезков ячейки, расположенных слева и справа от отрезка,

предназначенного для заполнения исследуемым веществом; измерение характеристик коаксиальной измерительной ячейки, заполненной исследуемым веществом; вычисление характеристик отрезка измерительной ячейки, заполненного исследуемым веществом; вычисление диэлектрической проницаемости заполняющего ячейку диэлектрика, при этом используют коаксиальную измерительную ячейку, обладающую симметричной матрицей рассеяния. Технический результат - обеспечение возможности более точного измерения частотных спектров комплексной диэлектрической проницаемости веществ в диапазоне частот от 0,01 до 15 ГГц. 1 ил.

RU 2 660 284 C1

RU 2 660 284 C1



фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 27/26 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017127063, 19.07.2017**

(24) Effective date for property rights:
19.07.2017

Registration date:
05.07.2018

Priority:

(22) Date of filing: **19.07.2017**

(45) Date of publication: **05.07.2018** Bull. № 19

Mail address:

**656049, g. Barnaul, pr. Lenina, 61, FGBOU VO
"Altajskij gosudarstvennyj universitet", otdel
okhrany intellektualnoj sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Molostov Ilya Petrovich (RU),
Shcherbinin Vsevolod Vladislavovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Altajskij gosudarstvennyj
universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF MEASUREMENT OF THE FREQUENCY RANGE OF INTEGRATED DIELECTRIC PERMITTIVITY**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: use for the measurement of frequency spectra of the complex dielectric permittivity of substances in the frequency range from 0.01 to 15 GHz. Essence of the invention lies in the fact that the method for measuring the frequency spectrum of the complex dielectric constant in the frequency range from 0.01 to 15 GHz is based on the measurement and calculation of the frequency spectra of cascade-specific scattering matrices, includes: measuring the characteristics of a coaxial measuring cell filled with a reference substance with a known frequency spectrum of the complex dielectric constant; finding the characteristics of the segments of the cell located to the

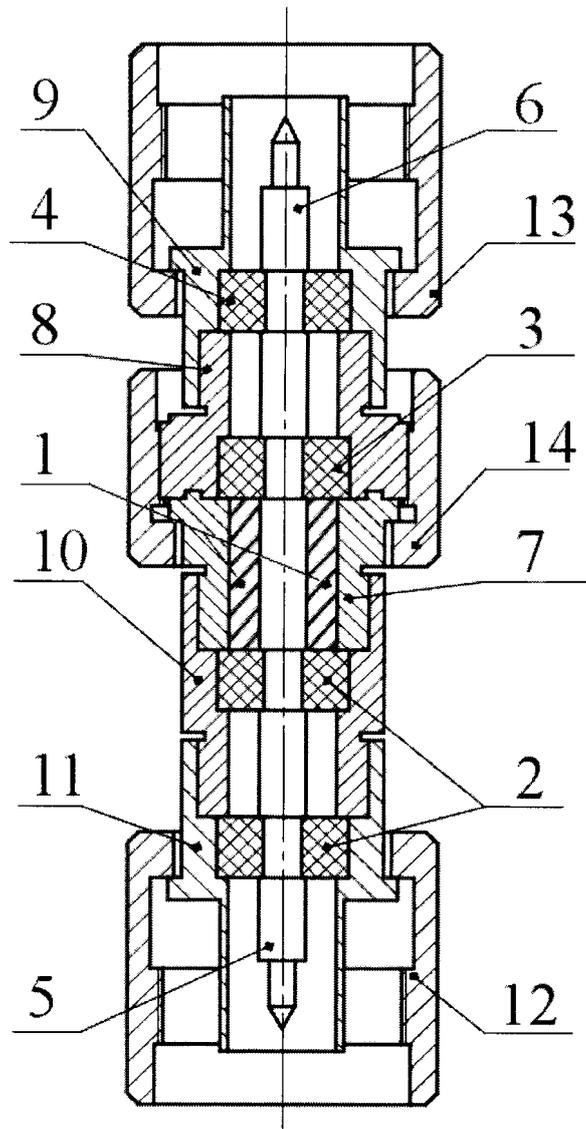
left and to the right of the segment intended for filling with the investigated substance; measurement of the characteristics of the coaxial measuring cell filled with the test substance; calculation of the characteristics of a section of the measuring cell filled with the substance under study; calculating the dielectric constant of the dielectric filler, while using a coaxial measuring cell with a symmetric scattering matrix. It is possible to more accurately measure the frequency spectra of the complex dielectric permittivity of substances in the frequency range from 0.01 to 15 GHz.

EFFECT: increased measurement accuracy.

1 cl, 1 dwg

RU 2 660 284 C1

RU 2 660 284 C1



фиг. 1

Изобретение относится к области измерительной техники, а также техники сверхвысоких частот, и предназначено для проведения измерений частотных спектров комплексной диэлектрической проницаемости веществ в диапазоне частот от 0,01 до 15 ГГц, необходимых в дистанционном зондировании Земли из космоса, физико-химическом анализе материалов и во многих других областях науки и техники.

Известно множество методов измерения комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне сверхвысоких частот, среди которых можно выделить резонансные методы, методы открытого конца волновода, методы открытого пространства и коаксиально-волноводные методы. По совокупности таких характеристик, как возможность проведения измерений в широком диапазоне частот, диапазон измерения реальной и мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости, точность измерений и стоимость необходимого для проведения измерений оборудования, наилучшим вариантом являются коаксиально-волноводные методы. Суть данных методов заключается в помещении исследуемого вещества в отрезок коаксиального волновода, с последующим измерением параметров рассеяния данного отрезка волновода и вычислением комплексной диэлектрической проницаемости с помощью известных формул, связывающих эти величины. На практике не удается напрямую измерить параметры рассеяния волны на исследуемом веществе, так как в тракте всегда присутствуют кабели и переходные устройства, служащие для соединения отрезка, заполненного исследуемым веществом, с измерительным прибором (например, векторным анализатором цепей). Совокупность переходных устройств и отрезка коаксиальной линии, заполненного исследуемым веществом, называется коаксиальной измерительной ячейкой. Для устранения влияния переходных устройств приходится проводить дополнительную процедуру калибровки.

Известен способ измерения комплексной диэлектрической проницаемости [Folgerø K. Bilinear calibration of coaxial transmission/reflection cells for permittivity measurement of low-loss liquids //Measurement Science and Technology. - 1996. - Т. 7. - №. 9. - С. 1260], заключающийся в измерении трех эталонных жидкостей с заранее известными значениями комплексной диэлектрической проницаемости, последующем нахождении калибровочных коэффициентов, измерении параметров рассеяния исследуемого вещества и вычислении комплексной диэлектрической проницаемости с использованием полученных ранее калибровочных коэффициентов. Недостатками этого способа является необходимость использования большого числа калибровочных жидкостей, что усложняет проведение эксперимента. При этом данный способ требует, чтобы значения диэлектрической проницаемости эталонных жидкостей были близки к диэлектрической проницаемости исследуемого вещества, что труднодостижимо во многих практически интересных случаях.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков способом является способ [Миронов В.Л. и др. Методика измерения частотного спектра комплексной диэлектрической проницаемости почв //Радиотехника и электроника. - 2010. - Т. 55. - №. 12. - С. 1465-1470], заключающийся в измерении параметров рассеяния двух пустых коаксиальных измерительных ячеек идентичной конструкции, но с разными длинами отрезков коаксиальной линии, предназначенных для заполнения исследуемым веществом. С использованием этих данных находят калибровочные коэффициенты, затем проводится измерение исследуемого образца с использованием одной из ячеек и производится вычисление комплексной диэлектрической проницаемости исследуемого образца с использованием полученных ранее калибровочных коэффициентов. К достоинствам этого метода можно отнести то, что он предоставляет простую методику

калибровки измерительной ячейки, не требующую использования эталонных диэлектриков. Недостатком этого метода является то, что он дает серьезные ошибки в окрестностях группы частот, пропорциональных модулю разницы длин измерительных ячеек, использованных для калибровки.

5 Предлагаемое изобретение направлено на то, чтобы измерения комплексной диэлектрической проницаемости проводились в как можно более широком диапазоне частот, с минимальными погрешностями, затратами реактивов (эталонных диэлектриков) и труда оператора.

10 Техническим результатом при использовании изобретения является исключение потребности в использовании большого числа эталонных диэлектриков при проведении измерений, а также отсутствие областей с большой ошибкой в измеренном частотном спектре комплексной диэлектрической проницаемости.

15 Предлагаемый способ измерения частотного спектра комплексной диэлектрической проницаемости предполагает использование коаксиальной измерительной ячейки, обладающей симметричной конструкцией и, соответственно, симметричной матрицей рассеяния. Волновое сопротивление всех участков ячейки, не заполненной калибровочным или исследуемым веществом, равно волновому сопротивлению выходных разъемов измерительного прибора. При этом фидер, соединяющий коаксиальную измерительную ячейку с измерительным прибором, имеет то же значение
20 волнового сопротивления.

Существенные признаки, отличающие предлагаемый способ от прототипа, заключаются в том, что предлагаемый способ предполагает использование измерительной ячейки, обладающей симметричной матрицей рассеяния, что позволяет производить более точную калибровку без внесения значительной ошибки в диапазоне частот от 0,01 до 15 ГГц.
25

На фиг. 1 представлена предлагаемая коаксиальная измерительная ячейка. Она состоит из области для размещения исследуемого образца поз. 1, трех разъемных поз. 2, 3 и одной сплошной поз. 4 диэлектрических шайб, жилы измерительной поз. 5 и жилы концевой поз. 6, соединяющихся в месте соприкосновения шайбы поз. 3 и рабочего объема поз. 1, капсулы измерительной поз. 7, двух втулок концевых поз. 9, 11, двух втулок промежуточных поз. 8, 10, гаек разъема поз. 12, 13 и одной гайки фиксации поз. 14. Шайбы поз. 2, 3, 4 служат для предотвращения продольных и поперечных смещений жил поз. 5, 6, а также для удержания. Без заполнения образцом, линия передачи, образуемая данной конструкцией, имеет одинаковое волновое сопротивление по всей
35 длине.

Коаксиальную измерительную ячейку можно представить в виде трех последовательно соединенных четырехполосников. Каскадно-специфическая матрица рассеяния для такой системы имеет вид:

$$T = T_1 T_s T_2, \quad (1)$$

40 где T - каскадно-специфическая матрица рассеяния коаксиальной измерительной ячейки; T_s - каскадно-специфическая матрица рассеяния, характеризующая участок волновода, заполненного исследуемым образцом; T_1 - каскадно-специфическая матрица рассеяния, характеризующая участок слева от участка, заполненного образцом; T_2 -
45 каскадно-специфическая матрица рассеяния, характеризующая участок справа от участка, заполненного образцом.

Выражая из (1) T_s , получим выражение, связывающие каскадно-специфическую матрицу рассеяния коаксиальной измерительной ячейки, заполненной образцом с

каскадно-специфической матрицей рассеяния исследуемого образца:

$$T_s = T_1^{-1} T T_2^{-1}. \quad (2)$$

Ввиду того что предлагаемая коаксиальная измерительная ячейка образует симметричную линию передачи:

$$T_2 = (T_1)^T. \quad (3)$$

При выполнении измерений сначала измеряется частотный спектр каскадно-специфической матрицы рассеяния коаксиальной измерительной ячейки, заполненной эталонным диэлектриком с известным частотным спектром диэлектрической проницаемости.

Затем, решая уравнение (1) с учетом (3) и данных измерений ячейки, заполненной эталонным диэлектриком, можно найти частотные спектры T_1 и T_2 .

Затем, используя выражение (2), вычисляется частотный спектр каскадно-специфической матрицы рассеяния T_s участка волновода, заполненного исследуемым образцом.

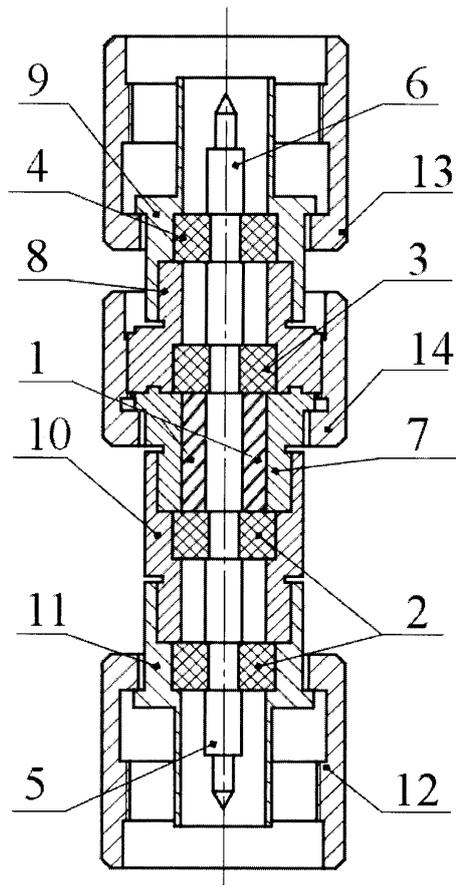
В завершение процесса измерений, используя известные формулы, связывающие каскадно-специфическую матрицу рассеяния исследуемого образца с его диэлектрической проницаемостью, производится вычисление ее частотного спектра.

Таким образом, благодаря всей совокупности признаков заявляемого технического решения обеспечивается измерение комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,01 до 15 ГГц, как и в прототипе, но с меньшей погрешностью.

(57) Формула изобретения

Способ измерения частотного спектра комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,01 до 15 ГГц, основанный на измерении и вычислении частотных спектров каскадно-специфических матриц рассеяния, включающий: измерение характеристик коаксиальной измерительной ячейки, заполненной эталонным веществом с известным частотным спектром комплексной диэлектрической проницаемости; нахождение характеристик отрезков ячейки, расположенных слева и справа от отрезка, предназначенного для заполнения исследуемым веществом; измерение характеристик коаксиальной измерительной ячейки, заполненной исследуемым веществом; вычисление характеристик отрезка измерительной ячейки, заполненного исследуемым веществом; вычисление диэлектрической проницаемости заполняющего ячейку диэлектрика, отличающийся тем, что используют коаксиальную измерительную ячейку, обладающую симметричной матрицей рассеяния.

Способ измерения частотного спектра комплексной диэлектрической
проницаемости



фиг. 1