

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036622**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.01(51) Int. Cl. **G01N 22/00 (2006.01)**(21) Номер заявки
201800324(22) Дата подачи заявки
2018.05.03**(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗАТОРА ЦЕПЕЙ СВЧ ДИАПАЗОНА**(43) **2019.11.29**(56) **RU-C2-2509315**(96) **2018/EA/0030 (BY) 2018.05.03****RU-C1-2231078**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

US-B1-9151793

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ" (BY)**

CN-U-202383208

**ПЕВНЕВА Н.А. и др. СВЧ метод
определения диэлектрических свойств жидкостей.
Доклады БГУИР, №5 (67), с. 46-50**

(72) Изобретатель:

**Гурский Александр Леонидович,
Гусинский Александр Владимирович,
Кострикин Анатолий Михайлович,
Певнева Наталья Алексеевна (BY)**

(57) Изобретение относится к технике измерений на сверхвысоких частотах, а именно к технике определения диэлектрической проницаемости материалов. Способ включает в себя определение действительной G и мнимой B составляющих эквивалентной нормированной проводимости при использовании волноводной системы с расположенным на выходе подвижным короткозамыкателем, имеющим волноводную камеру с диэлектрическим стерженьком, незаполненным или заполненным исследуемым материалом, и дальнейшего расчета значений комплексной диэлектрической проницаемости ϵ и ее действительной ϵ' и мнимой ϵ'' составляющих. Для нахождения значений G и B вместо скалярного используется векторный анализатор цепей. G и B находятся по формулам

$$G = \frac{n_n(1+tg^2\alpha_n)}{n_n^2+tg^2\alpha_n} - \frac{n_o(1+tg^2\alpha_o)}{n_o^2+tg^2\alpha_o}; \quad B = \frac{(1-n_n^2)g\alpha_n}{n_n^2+tg^2\alpha_n} - \frac{(1-n_o^2)g\alpha_o}{n_o^2+tg^2\alpha_o};$$

где

$$n_n = \frac{1-10^{|S_n|/20}}{1+10^{|S_n|/20}}; \quad n_o = \frac{1-10^{|S_o|/20}}{1+10^{|S_o|/20}};$$

$|S_n|$, $|S_o|$, φ_n , φ_o - модули и фазы коэффициентов отражения, измеренные с помощью векторного анализатора цепей при заполнении исследуемым материалом стерженька и при незаполненном стерженьке соответственно;

$\alpha_n = \varphi_n - \varphi_n/2$; $\alpha_o = \varphi_o - \varphi_o/2$; $\varphi_n = -\pi/2 + \pi l/\lambda_n$;

$\lambda_n = \lambda_o / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_o}{2a}\right)^2}$ - длина волны в волноводе;

λ_o - длина волны в свободном пространстве;

l - расстояние между стерженьком и плоскостью подключения подвижного короткозамыкателя.

B1**036622****036622****B1**

Изобретение относится к технике измерений на сверхвысоких частотах (СВЧ) и может быть использовано при определении диэлектрической проницаемости материалов.

Известен способ определения диэлектрической проницаемости материалов в диапазоне СВЧ, основанный на использовании измерительного генератора, волновода, полностью или частично заполняемого исследуемым материалом, измерительной линии и подвижного короткозамыкателя [1]. При помещении в волновод исследуемого материала распределение электромагнитного поля в волноводе изменяется, при этом происходит смещение первого минимума стоячей волны на величину l и, вследствие затухания электромагнитных волн, изменение величины коэффициента бегущей волны S . Измерения значений l , S и $\lambda_{\text{в}}$ (длина волны в волноводе) позволяют вычислить диэлектрическую проницаемость γ . Недостатки способа обусловлены использованием измерительной линии, что говорит о возможности измерения только в фиксированных точках частотного диапазона, и в связи с этим отсутствует автоматизация процесса измерений во всех точках СВЧ диапазона. Также недостатками являются сложность измерительного СВЧ тракта, непрочность конструкции и невысокая точность измерений.

Наиболее близким к предполагаемому изобретению является способ определения диэлектрической проницаемости исследуемых материалов с использованием волноводной камеры с тонким диэлектрическим стерженьком, не заполненным или заполненным исследуемыми материалами, подвижного короткозамыкателя с микрометрическим перемещением плоскости короткого замыкания, и определением модулей коэффициента отражения волноводной системы с помощью измерителя панорамного КСВН и ослабления (скалярного анализатора цепей) [2].

Способ позволяет по измеренным значениям коэффициентов отражения в максимуме стоячей волны в отсутствие исследуемых материалов в стерженьке и в минимумах при наличии и в отсутствие материалов найти действительную G и мнимую B составляющие эквивалентной нормированной проводимости для материалов и в дальнейшем рассчитать действительную ϵ' и мнимую ϵ'' составляющие диэлектрической проницаемости материалов.

Однако данный способ, несмотря на устранение недостатков способа [1], имеет недостаточно высокую точность из-за ограниченной точности установки положений короткозамыкателя, а также не обеспечивает автоматизацию измерительного процесса во всех точках СВЧ диапазона из-за необходимости в каждой частотной точке использовать перемещения короткозамыкателя.

Задача изобретения - повышение точности измерений диэлектрической проницаемости материалов при одновременной автоматизации процесса измерений и, как следствие, снижение трудоемкости и стоимости измерений.

Решение задачи достигается тем, что в способе определения диэлектрической проницаемости исследуемых материалов [2], основанном на нахождении для этих материалов действительной G и мнимой B составляющих эквивалентной нормированной проводимости при использовании волноводной системы с расположенным на выходе подвижным короткозамыкателем с микрометрическим винтом, имеющим волноводную камеру с тонким диэлектрическим стерженьком, незаполненным или заполненным исследуемым материалом; расчете найденных значений G и B комплексной диэлектрической проницаемости ϵ и ее действительной ϵ' и мнимой ϵ'' составляющих по формулам:

$$\epsilon = \epsilon' + j\epsilon'';$$

$$\epsilon' = 1 + D \frac{\beta}{\beta^2 + \gamma^2}; \quad \epsilon'' = D \frac{\gamma}{\beta^2 + \gamma^2};$$

где

$$D = 2 \left(\frac{\lambda_0}{\pi d} \right)^2;$$

$$\beta = A \frac{B}{B^2 + G^2} + \log \frac{4a}{\pi d} + 2 \sum_{n=3,5,7,\dots}^{\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{n^2 - (2a/\lambda_0)^2}} - \frac{1}{n} \right] - 1,75;$$

$$\gamma = A \frac{G}{B^2 + G^2};$$

$$A = \frac{2\lambda_{\text{в}}}{a};$$

λ_0 - длина волны в свободном пространстве;

$$\lambda_{\text{в}} = \lambda_0 / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a} \right)^2} \quad \text{- длина волны в волноводе;}$$

d - диаметр стерженька;

α - размер широкой стенки сечения волновода;

отличающегося тем, что для нахождения значений G и B вместо скалярного анализатора цепей используется векторный анализатор цепей, измеряющий не только модули коэффициентов отражений, но и их фазы, с последующим нахождением значений G и B по формулам:

$$G = \frac{n_n(1 + tg^2\alpha_n)}{n_n^2 + tg^2\alpha_n} - \frac{n_o(1 + tg^2\alpha_o)}{n_o^2 + tg^2\alpha_o},$$

$$B = \frac{(1 - n_n^2)tg\alpha_n}{n_n^2 + tg^2\alpha_n} - \frac{(1 - n_o^2)tg\alpha_o}{n_o^2 + tg^2\alpha_o},$$

где

$$n_n = \frac{1 - 10^{|S_n|/20}}{1 + 10^{|S_n|/20}}; \quad n_o = \frac{1 - 10^{|S_o|/20}}{1 + 10^{|S_o|/20}};$$

$|S_n|$, $|S_o|$ - модули коэффициентов отражения, измеренные с помощью векторного анализатора цепей при заполнении исследуемым материалом стерженька и при незаполненном стерженьке соответственно, дБ;

$$\alpha_n = \varphi_l - \varphi_n / 2; \quad \alpha_o = \varphi_l - \varphi_o / 2;$$

$$\varphi_l = -\pi/2 + \pi l / \lambda_b;$$

φ_n , φ_o - фазы коэффициентов отражения, измеренные с помощью векторного анализатора цепей при заполнении исследуемым материалом стерженька и при незаполненном стерженьке соответственно, °;

l - расстояние между стерженьком и плоскостью подключения подвижного короткозамыкателя.

Сравнительный анализ со способом, выбранным в качестве прототипа [2], показывает, что заявляемое изобретение отличается использованием векторного анализатора цепей вместо скалярного анализатора цепей, алгоритмом нахождения значений G и B из показаний векторного анализатора цепей. Способ позволяет обеспечить автоматическое измерение диэлектрической проницаемости материалов во всех точках СВЧ диапазона без изменения плоскости подключения короткозамыкателя в каждой фиксированной точке частотного диапазона для нахождения модулей коэффициентов отражения в точках максимумов и минимумов стоячей волны, что обеспечивает снижение трудоемкости и стоимости измерений. Повышение точности измерений обеспечивается за счет более точного измерения фаз коэффициентов отражений с помощью векторного анализатора цепей в сравнении с измерением модулей коэффициентов отражения в точках максимумов и минимумов.

Реализация предлагаемого способа иллюстрируется чертежом, представленным на фиг. 1.

Векторный анализатор цепей в режиме измерения модуля и фазы коэффициентов отражения представляет собой генератор с индикаторным блоком 1 и ориентированный на отраженный СВЧ сигнал направленный ответвитель 2. В волноводную систему входит волноводная камера 3 с тонким диэлектрическим стерженьком 4, который может быть заполнен или не заполнен исследуемым материалом. К выходу волноводной камеры подключен подвижный короткозамыкатель 5 с микрометрическим перемещением плоскости короткого замыкания. В персональном компьютере 6 происходит обработка полученных значений модулей и фаз коэффициентов отражения.

Измерения проводятся в два этапа. На первом этапе измеряют модули $|S_o|$ и фазы φ_o коэффициентов отражения в диапазоне частот при незаполненном материалом стерженьке. На втором этапе измеряют модули $|S_n|$ и фазы φ_n коэффициентов отражения в диапазоне частот при заполненном материалом стерженьке. При этом с высокой степенью точности известно расстояние между стерженьком 4 и выходным фланцем волноводной камеры 3. Плоскость короткого замыкания может перемещаться с помощью микрометрического винта подвижного короткозамыкателя 5. Плоскость устанавливается таким образом, чтобы интервал между стерженьком 4 и плоскостью короткого замыкания был равен:

$$l = \frac{n}{2} \lambda_{\text{вср}};$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$;

$\lambda_{\text{вср}}$ - значение длины волны в волноводе при среднем значении частоты в диапазоне частот.

Это обеспечивает наибольшую чувствительность измерений. Информация об измеренных значениях $|S_o|$, $|S_n|$, φ_o и φ_n , а также значениях λ_o , λ_b , d , a , l вводится в персональный компьютер 6, с помощью которого рассчитываются значения диэлектрической проницаемости материалов во всех точках СВЧ диапазона.

Для проведения измерений были использованы векторный анализатор цепей Anritsu MS4644B (диапазон частот 0,01-40 ГГц) и волноводная камера со стерженьком, аттестованная по геометрическим размерам в Белорусском государственном институте метрологии. В качестве объектов измерения использовалась дистиллированная вода и стержни из текстолита. Табличных значений диэлектрических

проницаемостей материалов для диапазона, в котором проводились измерения (8,15-12,00 ГГц), нет, для сравнительного анализа полученных результатов использовались результаты, полученные другими исследователями с применением других способов измерения [3, 4]. Анализ показал сравнительно небольшое расхождение результатов измерений.

На фиг. 2, 3 приведены фотографии собранной измерительной установки, волноводной камеры и вставки с отверстием для помещения материалов.

Источники информации.

1. Логинова Д.В., Лилеев А.С., Лященко А.К. //Журн. неорганической химии. 2002. Т. 47. № 9. С.1558-1565.
2. Патент РБ X 19857, 05.11.2015. Способ определения комплексной диэлектрической проницаемости твердого или жидкого диэлектрика посредством определения его эквивалентной нормированной проводимости//Патент Беларуси X 19857. 2011. / Певнева Н.А., Гурский А.Л., Гусинский А.В. [и др.].
3. James Baker-Jarvis, "Transmission/Reflection and Short-Circuit Line Permittivity Measurements", Technical Note 1341, National Institute of Standards and Technology, July 1990.
4. Y. Wang and M.N. Afsar, "Measurements of complex permittivity of liquids using waveguide techniques", Progress in Electromagnetic Research (PIER) 42, pp. 131-142,2003.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ определения диэлектрической проницаемости материалов в СВЧ диапазоне, основанный на нахождении действительной G и мнимой B составляющих эквивалентной нормированной проводимости при использовании волноводного тракта с расположенным на выходе подвижным короткозамыкателем с микрометрическим перемещением плоскости короткого замыкания и имеющим волноводную камеру с тонким диэлектрическим стерженьком, не заполненным или заполненным исследуемым материалом, вычислении действительной ϵ' и мнимой ϵ'' составляющих диэлектрической проницаемости через полученные значения G и B , отличающийся тем, что измерение модулей коэффициентов отражений и их фаз осуществляется в автоматическом режиме в диапазоне частот для нахождения значений G и B с использованием векторного анализатора цепей с последующим нахождением значений G и B по формулам:

$$G = \frac{n_n(1 + tg^2\alpha_n)}{n_n^2 + tg^2\alpha_n} - \frac{n_o(1 + tg^2\alpha_o)}{n_o^2 + tg^2\alpha_o},$$

$$B = \frac{(1 - n_n^2)g\alpha_n}{n_n^2 + tg^2\alpha_n} - \frac{(1 - n_o^2)g\alpha_o}{n_o^2 + tg^2\alpha_o},$$

где

$$n_n = \frac{1 - 10^{|S_n|/20}}{1 + 10^{|S_n|/20}}; \quad n_o = \frac{1 - 10^{|S_o|/20}}{1 + 10^{|S_o|/20}};$$

$|S_n|$, $|S_o|$ - модули коэффициентов отражения, измеренные с помощью векторного анализатора цепей при заполнении исследуемым материалом стерженька и при незаполненном стерженьке соответственно, дБ;

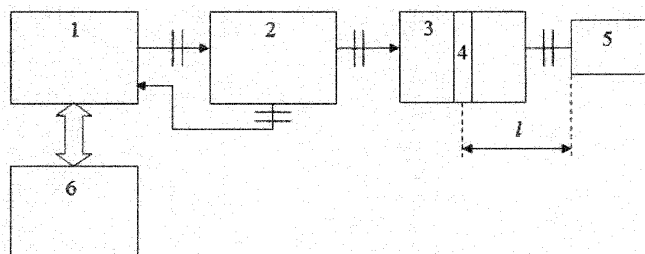
$$\alpha_n = \varphi_1 - \varphi_n/2; \quad \alpha_o = \varphi_1 - \varphi_o/2;$$

$$\varphi_1 = -\pi/2 + \pi l/\lambda_v;$$

φ_n , φ_o - фазы коэффициентов отражения, измеренные с помощью векторного анализатора цепей при заполнении исследуемым материалом стерженька и при незаполненном стерженьке соответственно, °;

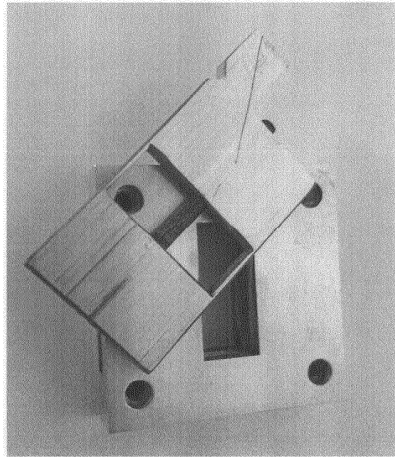
l - расстояние между стерженьком и плоскостью подключения подвижного короткозамыкателя;

λ_v - длина волны в волноводе.

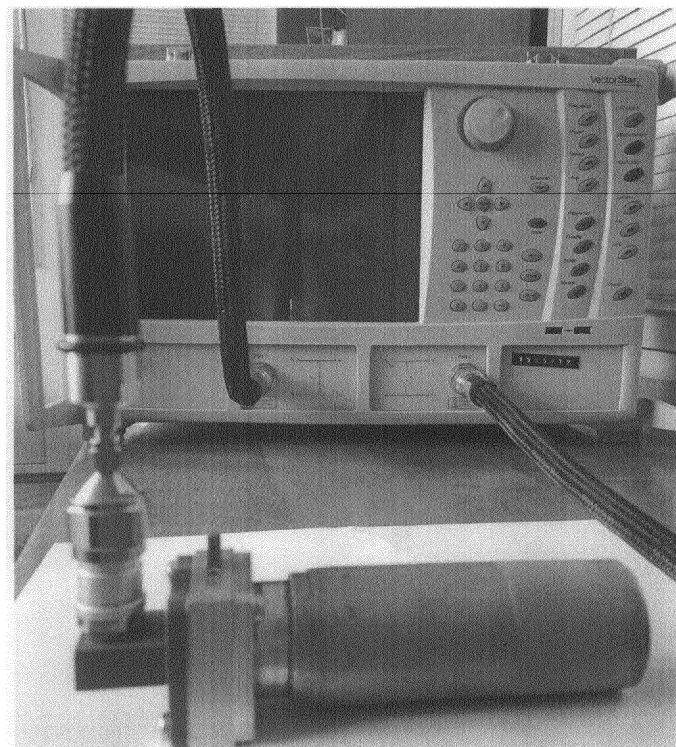


Фиг. 1

036622



Фиг. 2



Фиг. 3



Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
