

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2576552

### СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА

Патентообладатель(ли): *Сизиков Олег Креонидович (RU), Коннов Владимир Валерьевич (RU)*

Автор(ы): *Сизиков Олег Креонидович (RU), Коннов Владимир Валерьевич (RU)*

Заявка № 2014137865

Приоритет изобретения 17 сентября 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 08 февраля 2016 г.

Срок действия патента истекает 17 сентября 2034 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев







**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014137865/28, 17.09.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
17.09.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.09.2014

(45) Опубликовано: 10.03.2016 Бюл. № 7

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2365903 C1, 27.08.2009. RU 2330267 C1, 27.07.2008. RU 2084877 C1, 20.07.1997. SU 1062577 A1, 23.12.1983. US 7944220 B2, 17.05.2011. US 6281801 B1, 28.08.2001.

Адрес для переписки:

443096, г. Самара, ул. Клиническая, 30, кв. 105,  
Сизиков Олег Креонидович

(72) Автор(ы):

Сизиков Олег Креонидович (RU),  
Коннов Владимир Валерьевич (RU)

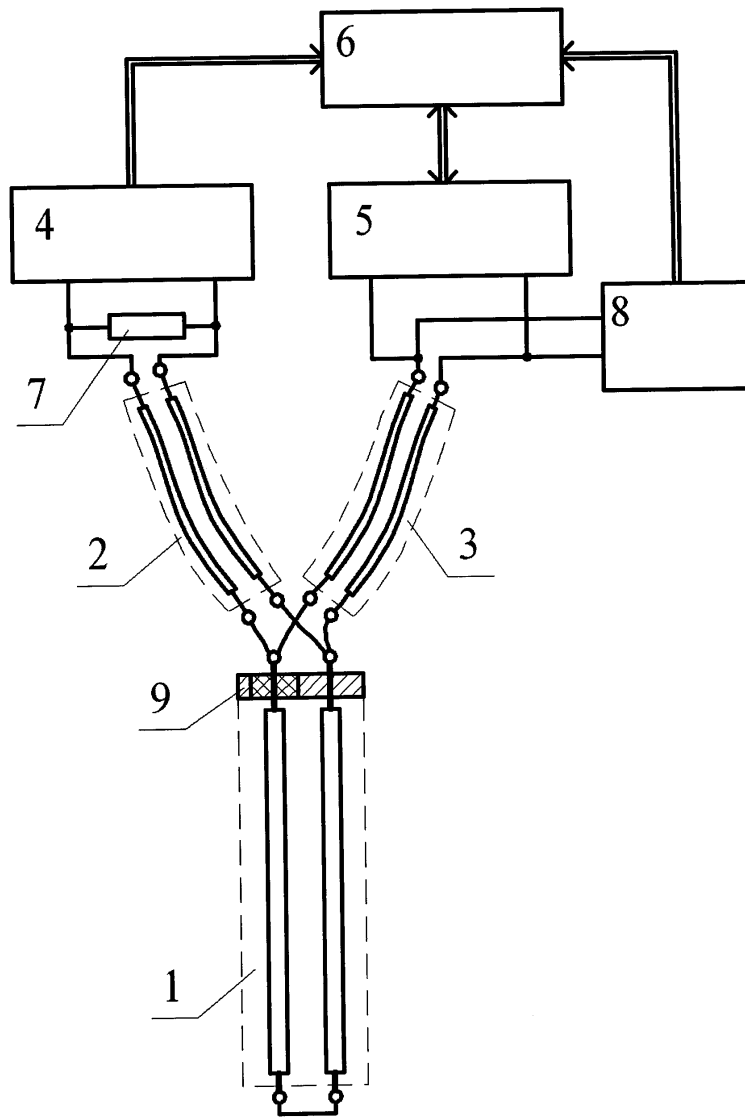
(73) Патентообладатель(и):

Сизиков Олег Креонидович (RU),  
Коннов Владимир Валерьевич (RU)**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для измерения физических параметров материала, в том числе и при экстремальных температурах. Способ включает в себя измерение напряжения зондирующего сигнала во входной цепи первичного преобразователя, заполняемого контролируемым материалом, причем первичный преобразователь выполнен в виде отрезка длинной линии. Измерения напряжения выполняют дистанционно, для чего между входом амплитудного детектора и входом первичного преобразователя включают первый дополнительный отрезок линии передачи, в котором создают режим бегущих волн. Подачу зондирующего сигнала с выхода генератора на

вход первичного преобразователя производят через включенный между ними второй дополнительный отрезок линии передачи. Генератор перестраивают в диапазоне частот и определяют частоты гармоник при заполнении первичного преобразователя контролируемым материалом и воздухом. По значениям указанных частот определяют влажность, состав и другие физические параметры материала, влияющие на диэлектрическую проницаемость. Технический результат заключается в обеспечении измерений при экстремальных температурах, повышение точности измерения, расширение функциональных возможностей. 2 н. и 10 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01R 27/26* (2006.01)  
*G01F 23/28* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014137865/28, 17.09.2014

(24) Effective date for property rights:  
17.09.2014

Priority:

(22) Date of filing: 17.09.2014

(45) Date of publication: 10.03.2016 Bull. № 7

Mail address:

443096, g. Samara, ul. Klinicheskaja, 30, kv. 105,  
Sizikov Oleg Kreonidovich

(72) Inventor(s):

Sizikov Oleg Kreonidovich (RU),  
Konnov Vladimir Valerevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Sizikov Oleg Kreonidovich (RU),  
Konnov Vladimir Valerevich (RU)

(54) **METHOD AND DEVICE FOR MEASURING PHYSICAL PARAMETERS OF MATERIAL**

(57) Abstract:

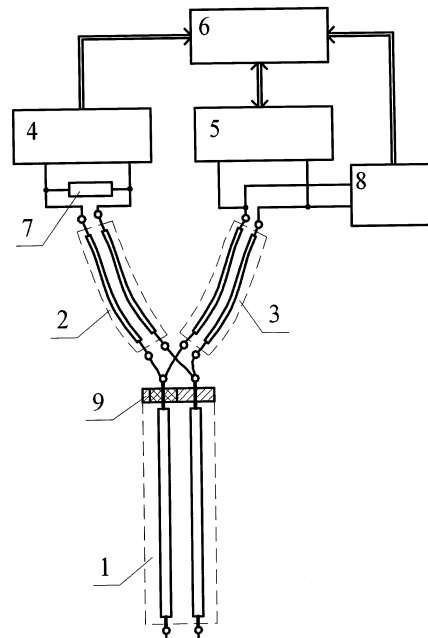
FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment and is intended for measuring physical parameters of material, including at extreme temperatures. Method includes measurement of voltage of the probing signal in the output circuit of the primary converter filled with controlled material, whereupon the primary converter is made in form of long line leg. Voltage measurement is performed remotely, for which between the input of amplitude detector and the input of the primary converter include the first additional leg of transmission line, in which a progressive wave mode is created. Supply of the probing signal from the output of the generator to the input of the primary converter is carried out through the second additional leg of transmission line connected between them. Generator is reconstructed within frequency range and the frequency of harmonics is determined when filling the primary converter with controlled material and air. Using values of said frequencies, the moisture, composition and other physical parameters affecting material dielectric permeability are defined.

EFFECT: technical result consists in ensuring

measurements at extreme temperatures, higher measurement accuracy, broader functional capabilities.

12 cl, 4 dwg



Фиг. 1

RU 2 5 7 6 5 5 2 C 1

RU 2 5 7 6 5 5 2 C 1

Техническое решение относится к измерительной технике и предназначено для измерения физических параметров материала на основе измерения диэлектрической проницаемости. Техническое решение может быть применено для контроля влажности материалов, концентрации смеси веществ, плотности и других физических параметров, влияющих на диэлектрическую проницаемость. Основное назначение предлагаемого технического решения - контроль физических параметров при экстремальных температурах, в частности измерение влажности пароводяной смеси, контроль уровня криогенных жидкостей.

Известен способ измерения физических параметров материала (Авт. свидетельство SU 131138 (A1), опубл. 30.11.1960 г.), при котором заполняют контролируемым материалом первичный преобразователь, выполненный в виде отрезка длинной линии с замкнутыми на конце проводниками, подают гармонический зондирующий сигнал на вход первичного преобразователя через подключенную к первичному преобразователю измерительную линию и производят оценку величины изменения физических параметров путем регистрации изменения фазы стоячей волны, образованной в первичном преобразователе, для чего фиксируют положение узла стоячей волны в измерительной линии с помощью подвижного съемника сигналов.

Недостатком данного способа и реализующего его устройства является низкая точность, обусловленная тем, что фазу стоячей волны, образованной в первичном преобразователе, определяют путем измерения фазы стоячей волны в измерительной линии, находящейся вне первичного преобразователя. В измерительной линии фаза стоячей волны зависит уже не только от диэлектрических параметров контролируемого материала, но в очень большой степени и от конструкции и параметров проходного изолятора - узла ввода электрического сигнала на входе первичного преобразователя, что приводит к большим ошибкам измерения. Другим недостатком данного технического решения является необходимость механического перемещения съемника сигналов измерительной линии.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому способу является способ измерения физических параметров материала (Международная заявка PCT/RU 2013/001028 от 18.11.2013 г., см. также заявку №2013143105/028 (066220) от 23.09.2013 г.), при котором заполняют контролируемым материалом первичный преобразователь, выполненный в виде отрезка длинной линии с не менее чем двумя проводниками, подают гармонический зондирующий сигнал на вход первичного преобразователя и определяют частоту хотя бы одной из гармоник зондирующего сигнала, характеризующихся тем, что на частоте гармоники входное сопротивление первичного преобразователя достигает минимума, причем сопротивление первичного преобразователя определяют путем измерения напряжения зондирующего сигнала во входной цепи первичного преобразователя с помощью амплитудного детектора, вход которого подключен непосредственно к входу первичного преобразователя, зондирующий сигнал формируют генератором, который перестраивают в диапазоне частот, измеренное значение частоты гармоники сравнивают с частотой гармоники при заполнении первичного преобразователя воздухом и по значениям этих частот или их отношению определяют физические параметры материала.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является устройство измерения физических параметров материала (Международная заявка PCT/RU 2013/001036 от 19.11.2013, см. также заявку №2013105028/07 (007483) от 06.02.2013, опубл. 20.08.2014), содержащее первичный преобразователь, выполненный в виде отрезка длинной линии с не менее чем двумя проводниками, пространство между

которыми предназначено для заполнения контролируемым материалом, амплитудный детектор, генератор зондирующего сигнала, имеющий вход управления и выполненный на основе перестраиваемого по частоте формирователя гармонического сигнала, устройство измерения и управления, к которому подключен вход управления генератора и выход амплитудного детектора, причем выход генератора соединен с входом первичного преобразователя через резистор, а вход амплитудного детектора соединен с входом первичного преобразователя непосредственно.

Недостатком технического решения, описанного в приведенном выше способе и реализующем этот способ устройстве, является низкая точность измерений физических параметров материалов, имеющих экстремальные температуры. Диапазон рабочих температур известного устройства определяется допустимым диапазоном температур эксплуатации полупроводниковых диодов, входящих в состав амплитудного детектора. Указанные диоды подсоединены непосредственно к входу первичного преобразователя и имеют ту же температуру, что и первичный преобразователь, а следовательно, ту же температуру, что и контролируемый материал. Очевидное решение, обеспечивающее термоизоляцию диодов, состоит в подключении амплитудного детектора не непосредственно к входу первичного преобразователя, а в линию передачи, соединяющую генератор с входом первичного преобразователя. Но в этом случае фаза стоячей волны, фиксируемая детектором, зависит уже не только от диэлектрических параметров контролируемого материала, но в очень большой степени и от конструкции и параметров проходного изолятора (узла ввода электрического сигнала на входе первичного преобразователя), а также от длины отрезка линии передачи между детектором и входом первичного преобразователя. Минимум измеряемого напряжения будет сдвинут по частоте относительно частоты гармоники первичного преобразователя, что приведет к большим ошибкам измерения физических параметров.

Рабочий диапазон температур полупроводниковых диодов, на основе которых выполняется амплитудный детектор, обычно не выходит за пределы  $-60...+150^{\circ}\text{C}$ . Соответственно, известное техническое решение только лишь в этом диапазоне температур обеспечивает высокую точность измерения. Для контроля, в частности, пароводяных смесей с температурами до  $400^{\circ}\text{C}$  или криогенных жидкостей применение известного технического решения не обеспечит точности измерения. Другим недостатком известного устройства является сложность конструкции, выражающаяся в том, что первичный преобразователь - зонд устройства - должен быть оснащен электронными элементами. Это ограничивает функциональные возможности в применении устройства.

Целью предлагаемого технического решения является повышение точности измерения физических параметров материала, имеющего экстремальную температуру, расширение функциональных возможностей устройства измерения и упрощение его конструкции.

Поставленная цель в предлагаемом способе измерения физических параметров материала, при котором заполняют контролируемым материалом первичный преобразователь, выполненный в виде отрезка длинной линии, подают гармонический зондирующий сигнал на вход первичного преобразователя и определяют частоту хотя бы одной из гармоник зондирующего сигнала, характеризующихся тем, что на частоте гармоники входное сопротивление первичного преобразователя достигает минимума, причем сопротивление первичного преобразователя определяют путем измерения напряжения зондирующего сигнала во входной цепи первичного преобразователя с помощью амплитудного детектора, зондирующий сигнал формируют генератором, который перестраивают в диапазоне частот, измеренное значение частоты гармоники сравнивают с частотой гармоники при заполнении первичного преобразователя

воздухом и по значениям этих частот или их отношению определяют физические параметры материала, достигается тем, что напряжение зондирующего сигнала во входной цепи первичного преобразователя определяют дистанционно, для чего между входом амплитудного детектора и входом первичного преобразователя включают первый дополнительный отрезок линии передачи, в котором создают режим бегущих волн, подачу зондирующего сигнала с выхода генератора на вход первичного преобразователя производят через включенный между ними второй дополнительный отрезок линии передачи.

Поставленная цель достигается также тем, что в предложенном способе частоту гармоники определяют по достижению минимума напряжения, измеренного с помощью амплитудного детектора, или по достижению минимума отношения указанного напряжения к напряжению, измеренному с помощью второго детектора амплитуды, включенного в месте соединения выхода генератора со вторым дополнительным отрезком линии передачи, при этом вход первичного преобразователя подключен к входам первого и второго дополнительных отрезков линии передачи параллельно.

Особенность данного решения состоит в том, что для указанного соединения дополнительных отрезков с первичным преобразователем входное сопротивление преобразователя шунтирует на частоте гармоники передачу сигнала к амплитудному детектору. Вторая особенность данного решения состоит в том, что для исключения влияния неустойчивости амплитудной характеристики генератора предложено сигнал амплитудного детектора нормировать по сигналу второго детектора амплитуды, подключенного к выходу генератора.

Поставленная цель достигается также тем, что в предложенном способе частоту гармоники определяют по достижению максимума напряжения, измеренного с помощью амплитудного детектора, или по достижению максимума отношения указанного напряжения к напряжению, измеренному с помощью второго детектора амплитуды, включенного в месте соединения выхода генератора со вторым дополнительным отрезком линии передачи, при этом входы первичного преобразователя и входы первого и второго дополнительных отрезков линии передачи соединены последовательно.

При последовательном соединении дополнительных отрезков к первичному преобразователю низкое входное сопротивление преобразователя на частоте гармоники обеспечивает передачу сигнала на вход амплитудного детектора с минимальным ослаблением.

Поставленная цель достигается также тем, что в предложенном способе генератор перестраивают в диапазоне частот дискретными шагами, на каждом шаге перестройки вычисляют отношение напряжения, измеренного с помощью амплитудного детектора, к напряжению, измеренному с помощью второго детектора амплитуды, и по частотной зависимости отношения указанных напряжений, измеренной во всем диапазоне частот перестройки генератора, определяют частоты гармоник.

Поставленная цель достигается также тем, что одновременно измеряют температуру контролируемого материала.

Применительно к устройству, реализующему предложенный способ, поставленная цель достигается тем, что в устройстве измерения физических параметров материала, содержащем первичный преобразователь, выполненный в виде отрезка длинной линии с не менее чем двумя проводниками, пространство между которыми предназначено для заполнения контролируемым материалом, амплитудный детектор, генератор зондирующего сигнала, имеющий вход управления и выполненный на основе перестраиваемого по частоте формирователя гармонического сигнала, устройство

измерения и управления, к которому подключен вход управления генератора и выход амплитудного детектора, согласно предлагаемому техническому решению, в состав устройства введены первый и второй дополнительные отрезки двухпроводной линии передачи, первый дополнительный отрезок линии передачи включен между входом первичного преобразователя и входом амплитудного детектора, а второй дополнительный отрезок линии передачи включен между выходом генератора и входом первичного преобразователя, причем входы первого и второго дополнительных отрезков линии передачи подсоединены к входу первичного преобразователя или параллельно или последовательно, первый дополнительный отрезок линии передачи выполнен согласованным со стороны амплитудного детектора, что обеспечено, например, подсоединением согласующего резистора параллельно входу амплитудного детектора.

Поставленная цель достигается также тем, что вывод проводников на входе первичного преобразователя выполнен через проходной изолятор, предназначенный для герметизации первичного преобразователя от внешней среды.

Поставленная цель достигается также тем, что проводники первого и второго дополнительных отрезков линии передачи и проводники первичного преобразователя выполнены из металла, устойчивого к воздействию экстремальных температур, а соединение указанных проводников выполнено сварным.

Поставленная цель достигается также тем, что проводники первичного преобразователя на его конце выполнены замкнутыми.

Поставленная цель достигается также тем, что в состав устройства измерения физических параметров материала введен второй детектор амплитуды, вход указанного детектора подключен к выходу генератора, а выход указанного детектора подключен к устройству измерения и управления.

Поставленная цель достигается также тем, что генератор зондирующего сигнала выполнен в виде синтезатора, который формирует частоту зондирующего сигнала по цифровому коду, задаваемому устройством измерения и управления, а устройство измерения и управления содержит процессор, который вычисляет физические параметры материала по значению частоты зондирующего сигнала, на которой достигается минимум входного сопротивления первичного преобразователя.

Поставленная цель достигается также тем, что устройство измерения и управления содержит аналоговый узел, выполненный с возможностью перестройки частоты генератора до достижения минимума входного сопротивления первичного преобразователя, а также содержит узел измерения указанной частоты.

Сущность предлагаемого технического решения поясняется на фиг. 1-4.

На фиг. 1 представлено устройство измерения физических параметров материала в варианте с параллельным подсоединением к входу первичного преобразователя входов дополнительных отрезков линии передачи.

На фиг. 2 представлено устройство измерения физических параметров материала в варианте с последовательным подсоединением к входу первичного преобразователя входов дополнительных отрезков линии передачи.

На фиг. 3 и 4 приведены графики зависимости напряжения  $U_{det}$  от частоты генератора  $f$ , где  $U_{det}$  - или напряжение на выходе амплитудного детектора или это же напряжение, но нормированное по значению напряжения с выхода второго детектора амплитуды.

Частотная характеристика на фиг. 3 соответствует варианту устройства, показанному на фиг. 1, в котором входы дополнительных отрезков линии передачи подсоединены к входу первичного преобразователя параллельно.



Частотная характеристика на фиг. 4 соответствует варианту устройства, показанному на фиг. 2, в котором входы дополнительных отрезков линии передачи подсоединены к входу первичного преобразователя последовательно.

Предложенное устройство измерения физических параметров материала содержит следующие узлы:

- 1 - первичный преобразователь (зонд);
- 2 - первый дополнительный отрезок двухпроводной линии передачи, являющейся длинной линией;
- 3 - второй дополнительный отрезок двухпроводной линии передачи, являющейся длинной линией;
- 4 - амплитудный детектор;
- 5 - генератор зондирующего сигнала, имеющий вход управления и выполненный на основе перестраиваемого по частоте формирователя гармонического сигнала;
- 6 - устройство измерения и управления.

Устройство измерения физических параметров материала может содержать также следующие узлы:

- 7 - согласующий резистор;
- 8 - второй детектор амплитуды;
- 9 - проходной изолятор - узел ввода электрического сигнала на входе первичного преобразователя.

Предложенное устройство измерения физических параметров материала характеризуется также следующими признаками.

Первичный преобразователь 1 выполнен в виде отрезка длинной линии с не менее чем двумя проводниками, пространство между которыми предназначено для заполнения контролируемым материалом. К входу первичного преобразователя 1 подсоединены входы дополнительных отрезков 2 и 3 линии передачи. Указанное подключение может быть выполнено как в виде параллельного соединения (фиг. 1), так и в виде последовательного (фиг. 2). Первый дополнительный отрезок 2 линии передачи включен между входом первичного преобразователя 1 и входом амплитудного детектора 4.

Второй дополнительный отрезок 3 включен между входом первичного преобразователя 1 и выходом генератора 5. Выход амплитудного детектора 4 и вход управления генератора 5 подключены к устройству 6 измерения и управления. Первый дополнительный отрезок 2 выполнен согласованным со стороны амплитудного детектора 4, то есть нагружен на сопротивление, равное его волновому сопротивлению. Это обеспечено, например, подсоединением к выходу отрезка 2 параллельно входу амплитудного детектора 4 согласующего резистора 7. Номинал (сопротивление) резистора 7 выбран таким, чтобы сопротивление нагрузки, образованной входным сопротивлением амплитудного детектора 4 и резистора 7, было равно волновому сопротивлению отрезка 2 линии передачи.

Входное сопротивление диодных амплитудных детекторов без согласующего резистора обычно составляет не менее 5 кОм. Волновое сопротивление линий передачи обычно находится в пределах 20...200 Ом. Поэтому для обеспечения требуемого согласования достаточно, чтобы сопротивление резистора 7 было равно волновому сопротивлению отрезка 2 линии передачи. Следует отметить, что согласование отрезка 2 также может быть достигнуто включением широкополосного трансформатора между выходом этого отрезка 2 и входом детектора 4.

В состав устройства измерения физических параметров может быть введен второй детектор 8 амплитуды, вход которого подключен к выходу генератора 5 в месте его

соединения с вторым дополнительным отрезком 3 линии передачи, а выход детектора 8 подключен к устройству 6 измерения и управления.

Проводники первичного преобразователя 1 на его конце могут быть выполнены как разомкнутыми (режим холостого хода), так и замкнутыми между собой (режим короткого замыкания). Если проводники первичного преобразователя 1 на его конце выполнены замкнутыми, то преобразователь 1 имеет более высокую стабильность электрических параметров, чем в режиме холостого хода. В таком преобразователе устранено влияние на измерения паразитной емкости на конце линии передачи, характерное для преобразователей с разомкнутыми на конце проводниками. На фиг. 1 и 2 замыкание проводников на конце первичного преобразователя условно показано в виде подсоединенной к ним перемычки.

Ввод зондирующего сигнала в преобразователь 1 производят через проходной изолятор 9, содержащий два металлических проводника, разделенные диэлектриком. Назначение проходного изолятора - отделение контролируемого материала от внешней среды, герметизация первичного преобразователя. Для варианта устройства, показанного на фиг. 1, указанный проходной изолятор конструктивно может быть выполнен в виде коаксиально расположенных проводников, пространство между которыми заполнено диэлектриком.

Устройство измерения физических параметров материала работает следующим образом. Генератор 5 перестраивают в диапазоне рабочих частот с помощью устройства 6 измерения и управления. Сформированный генератором 5 гармонический зондирующий сигнал подают на вход первичного преобразователя 1 через второй дополнительный отрезок 3 линии передачи. С помощью амплитудного детектора 4, подключенного к преобразователю 1 через отрезок 2, контролируют напряжение зондирующего сигнала во входных цепях преобразователя 1. Благодаря тому что отрезок 2 согласован со стороны подключенного к нему детектора 4, в этом отрезке 2 создан режим бегущих волн. Вся энергия, поступающая на вход этого отрезка 2, передается на вход детектора 4.

Режим бегущих волн обуславливает достижение следующего эффекта:

- связь детектора 4 с первичным преобразователем 1 не зависит от частоты;
- указанный отрезок 2 не вносит реактивность на вход первичного преобразователя 1 и не меняет положение минимумов входного сопротивления в его частотной характеристике.

Тем самым обеспечено точное измерение напряжения во входных цепях преобразователя 1, причем на расстоянии, определяемом длиной отрезка 2. Амплитудный детектор 4 преобразует высокочастотный зондирующий сигнал в низкочастотный. Напряжение с выхода детектора 4 подается в устройство 6. Одновременно в устройство 6 подается напряжение с выхода второго детектора 8. Результирующее напряжение  $U_{det}$  (напряжение с выхода амплитудного детектора 4 или это же напряжение, но нормированное по напряжению с выхода второго детектора 8) анализируется в устройстве 6. Определяются частоты, на которых величина  $U_{det}$  достигает экстремума (см. фиг. 3 и фиг. 4) и, соответственно, достигает минимума входное сопротивление первичного преобразователя 1. Найденные частоты являются частотами гармоник:

$f_j^M, f_i^M$  - при заполнении преобразователя 1 контролируемым материалом;

$f_j^0, f_i^0$  - при заполнении преобразователя 1 воздухом.

Для преобразователя 1, у которого проводники на его конце выполнены замкнутыми,

номер гармоники  $i$  равен количеству полуволн, «укладывающихся» на длине  $L$  преобразователя 1:

$$L = \left(\frac{\lambda}{2}\right) \cdot i,$$

где  $\lambda$  - длина волны в среде материала, заполняющего преобразователь 1, причем номер гармоники  $i=1, 2, 3, \dots$

Для преобразователя 1 с разомкнутыми на конце проводниками сопротивление равно минимуму при следующем соотношении между длиной преобразователя и длиной волны:

$$L = \left(\frac{\lambda}{4}\right) \cdot i,$$

причем номер гармоники  $i=1, 3, 5, \dots$

Измерения частот гармоник выполняют поочередно при заполнении первичного преобразователя 1 воздухом и при заполнении первичного преобразователя 1 контролируемым материалом. В зависимости от ширины диапазона перестройки в результате измерений можно получить значения частот ряда гармоник. По измеренным частотам гармоник вычисляют показатель преломления материала (точнее его действительную составляющую).

Так как электрическая длина проходного изолятора много меньше электрической длины самого первичного преобразователя, то с помощью следующих математических выражений можно вычислить показатель преломления  $n$  материала:

$$n = \left( \sum_{i=1}^m \frac{f_i^0}{f_i^M} \right) / m,$$

или

$$n = \left( \prod_{i=1}^m \frac{f_i^0}{f_i^M} \right)^{\frac{1}{m}},$$

или

$$n = \sqrt{\left[ \sum_{i=1}^m \left( \frac{f_i^0}{f_i^M} \right)^2 \right]} / m,$$

или

$$n = \frac{f_i^0 - f_j^0}{f_i^M - f_j^M},$$

где  $m$  - количество измеренных гармоник, причем  $m=1, 2, 3, \dots$ ;

$i, j$  - номера гармоник, причем  $i \neq j, i \neq 0$ ;

$f_i^M, f_j^M$  - частоты гармоник с номерами  $i, j$  при заполнении первичного преобразователя

контролируемым материалом;

$f_i^0, f_j^0$  - частоты гармоник с номерами  $i, j$  при заполнении первичного преобразователя воздухом.

5 Для обеспечения высокой точности предпочтительнее работа с низшими гармониками. В большинстве практических случаев достаточно проводить измерения только по первым двум гармоникам и даже по одной гармонике, например первой ( $m=1; i=1$ ).

10 Измерение частоты гармоники при воздушном заполнении преобразователя 1 достаточно выполнить один раз при изготовлении прибора и эти данные занести в память процессора устройства измерения 6. При эксплуатации прибора повторное измерение при воздушном заполнении преобразователя может потребоваться только для метрологической поверки.

15 Показатель преломления  $n$  в технической литературе также называют коэффициентом замедления или коэффициентом укорочения длины волны.

Этот параметр связан с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r$  материала следующим соотношением:

$$\epsilon_r = n^2.$$

20 По измеренным значениям  $n$  и температуре материала определяют его влажность или другие физические параметры, влияющие на показатель преломления, например концентрацию смеси веществ, плотность или даже количество материала в емкости, в которой установлен первичный преобразователь.

25 Особенность предлагаемого технического решения состоит в том, что измерение частот выполняют при минимуме входного сопротивления преобразователя 1 и определяют этот минимум дистанционно. Такое решение практически полностью исключает влияние конструкции и паразитных реактивностей проходного изолятора на результаты измерения. Последнее утверждение хотелось бы выделить: так как измерения производятся при минимуме входного сопротивления преобразователя, то 30 низкое входное сопротивление шунтирует паразитные реактивности, вносимые в точку измерения конструкцией проходного изолятора, что обуславливает достижение высокой точности измерения.

35 Поиск минимумов в частотной характеристике первичного преобразователя и вычисление по ним частот гармоник может выполняться по одному из приведенных ниже алгоритмов.

#### Алгоритм 1

40 Генератор 5 перестраивают в диапазоне частот дискретными шагами и на каждом шаге перестройки фиксируют напряжение, измеренное с помощью амплитудного детектора 4, или отношение указанного напряжения к напряжению, измеренному с помощью второго детектора 8. По набору указанных значений, полученному для всего диапазона частот перестройки, определяют частоты гармоник. По найденным значениям 45 указанных частот процессор устройства 6 вычисляет показатель преломления материала. Далее, по калибровочным характеристикам контролируемого материала с учетом его температуры процессор вычисляет физические параметры этого материала. Для обеспечения работы по данному алгоритму генератор 5 выполнен в виде синтезатора, который формирует частоту зондирующего сигнала по цифровому коду, задаваемому 50 устройством 6 измерения и управления.

#### Алгоритм 2

Генератор 5 перестраивают в диапазоне частот непрерывно до обнаружения



экстремума напряжения  $U_{det}$ , соответствующего минимуму входного сопротивления преобразователя 1. Далее генератор переводят в режим автосопровождения - автоматической подстройки под частоту экстремума. При нахождении экстремума производят отсчет частоты генератора 5 и далее, как и в предыдущем алгоритме, вычисляют показатель преломления, по которому определяют физические параметры контролируемого материала. Для реализации данного алгоритма в устройство 6 введены аналоговый узел, выполненный с возможностью перестройки частоты генератора 5 до достижения минимума входного сопротивления первичного преобразователя 1, и узел измерения частоты генератора 5.

В качестве дополнительного пояснения к предложенному техническому решению необходимо отметить следующее.

На длине первичного преобразователя должно «укладываться» не менее  $\frac{1}{2} - \frac{1}{4}$  длины волны, поэтому измерения производятся в диапазоне частот от десятков до сотен мегагерц. В указанном диапазоне длина дополнительных отрезков 2 и 3 также соизмерима с длиной волны. Поэтому в предложенном техническом решении учитываются и используются особенности распространения зондирующего сигнала в длинной линии передачи.

Измерение напряжения на входе первичного преобразователя выполняется дистанционно, это позволяет разместить электронные узлы устройства измерения в области с нормальными температурными условиями. Перенос электронных элементов (диодов амплитудного детектора) из зонда в общий электронный блок упрощает конструкцию устройства измерения, обеспечивает расширение функциональных возможностей его применения.

С конструктивными элементами на входе первичного преобразователя 1 непосредственно соприкасаются только проводники дополнительных отрезков 2, 3 линии передачи. Для измерения при экстремальных температурах указанные проводники и проводники первичного преобразователя выполняют из металла, устойчивого к воздействию указанных температур, а соединение указанных проводников выполняют сварным. Данное техническое решение может быть применено при криогенных температурах или температурах в  $1000^{\circ}\text{C}$  и более.

Проведенные испытания подтвердили эффективность предлагаемого технического решения.

#### Формула изобретения

1. Способ измерения физических параметров материала, при котором заполняют контролируемым материалом первичный преобразователь, выполненный в виде отрезка длинной линии, подают гармонический зондирующий сигнал на вход первичного преобразователя и определяют частоту хотя бы одной из гармоник зондирующего сигнала, характеризующихся тем, что на частоте гармоники входное сопротивление первичного преобразователя достигает минимума, причем сопротивление первичного преобразователя определяют путем измерения напряжения зондирующего сигнала во входной цепи первичного преобразователя с помощью амплитудного детектора, зондирующий сигнал формируют генератором, который перестраивают в диапазоне частот, измеренное значение частоты гармоники сравнивают с частотой гармоники при заполнении первичного преобразователя воздухом и по значениям этих частот или их отношению определяют физические параметры материала, отличающийся тем, что напряжение зондирующего сигнала во входной цепи первичного преобразователя определяют дистанционно, для чего между входом амплитудного детектора и входом

первичного преобразователя включают первый дополнительный отрезок линии передачи, в котором создают режим бегущих волн, подачу зондирующего сигнала с выхода генератора на вход первичного преобразователя производят через включенный между ними второй дополнительный отрезок линии передачи.

5 2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что частоту гармоники определяют по достижению минимума напряжения, измеренного с помощью амплитудного детектора, или по достижению минимума отношения указанного напряжения к напряжению, измеренному с помощью второго детектора амплитуды, включенного в месте соединения  
10 выхода генератора со вторым дополнительным отрезком линии передачи, при этом вход первичного преобразователя подключен к входам первого и второго дополнительных отрезков линии передачи параллельно.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что частоту гармоники определяют по достижению максимума напряжения, измеренного с помощью амплитудного детектора, или по достижению максимума отношения указанного напряжения к напряжению,  
15 измеренному с помощью второго детектора амплитуды, включенного в месте соединения выхода генератора со вторым дополнительным отрезком линии передачи, при этом входы первичного преобразователя и входы первого и второго дополнительных отрезков линии передачи соединены последовательно.

4. Способ по п. 2 или 3, отличающийся тем, что генератор перестраивают в диапазоне  
20 частот дискретными шагами, на каждом шаге перестройки вычисляют отношение напряжения, измеренного с помощью амплитудного детектора, к напряжению, измеренному с помощью второго детектора амплитуды, и по частотной зависимости отношения указанных напряжений, измеренной во всем диапазоне частот перестройки генератора, определяют частоты гармоник.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что одновременно измеряют температуру  
25 контролируемого материала.

6. Устройство измерения физических параметров материала, содержащее первичный преобразователь, выполненный в виде отрезка длинной линии с не менее чем двумя проводниками, пространство между которыми предназначено для заполнения  
30 контролируемым материалом, амплитудный детектор, генератор зондирующего сигнала, имеющий вход управления и выполненный на основе перестраиваемого по частоте формирователя гармонического сигнала, устройство измерения и управления, к которому подключен вход управления генератора и выход амплитудного детектора, отличающееся тем, что в состав устройства введены первый и второй дополнительные  
35 отрезки линии передачи, первый дополнительный отрезок линии передачи включен между входом первичного преобразователя и входом амплитудного детектора, а второй дополнительный отрезок линии передачи включен между выходом генератора и входом первичного преобразователя, причем входы первого и второго дополнительных отрезков линии передачи подсоединены к входу первичного преобразователя или  
40 параллельно или последовательно, первый дополнительный отрезок линии передачи выполнен согласованным со стороны амплитудного детектора, что обеспечено, например, подсоединением согласующего резистора параллельно входу амплитудного детектора.

7. Устройство по п. 6, отличающееся тем, что вывод проводников на входе первичного  
45 преобразователя выполнен через проходной изолятор, предназначенный для герметизации первичного преобразователя от внешней среды.

8. Устройство по п. 7, отличающееся тем, что проводники первого и второго дополнительных отрезков линии передачи и проводники первичного преобразователя

выполнены из металла, устойчивого к воздействию экстремальных температур, а соединение указанных проводников выполнено сварным.

9. Устройство по п. 6, отличающееся тем, что проводники первичного преобразователя на его конце выполнены замкнутыми.

5 10. Устройство по п. 6, отличающееся тем, что в его состав введен второй детектор амплитуды, вход указанного детектора подключен к выходу генератора, а выход указанного детектора подключен к устройству измерения и управления.

11. Устройство по любому из пп. 6-10, отличающееся тем, что генератор зондирующего сигнала выполнен в виде синтезатора, который формирует частоту зондирующего сигнала по цифровому коду, задаваемому устройством измерения и управления, а устройство измерения и управления содержит процессор, который вычисляет физические параметры материала по значению частоты зондирующего сигнала, на которой достигается минимум входного сопротивления первичного преобразователя.

15 12. Устройство по любому из пп. 6-10, отличающееся тем, что устройство измерения и управления содержит аналоговый узел, выполненный с возможностью перестройки частоты генератора до достижения минимума входного сопротивления первичного преобразователя, а также содержит узел измерения указанной частоты.

20

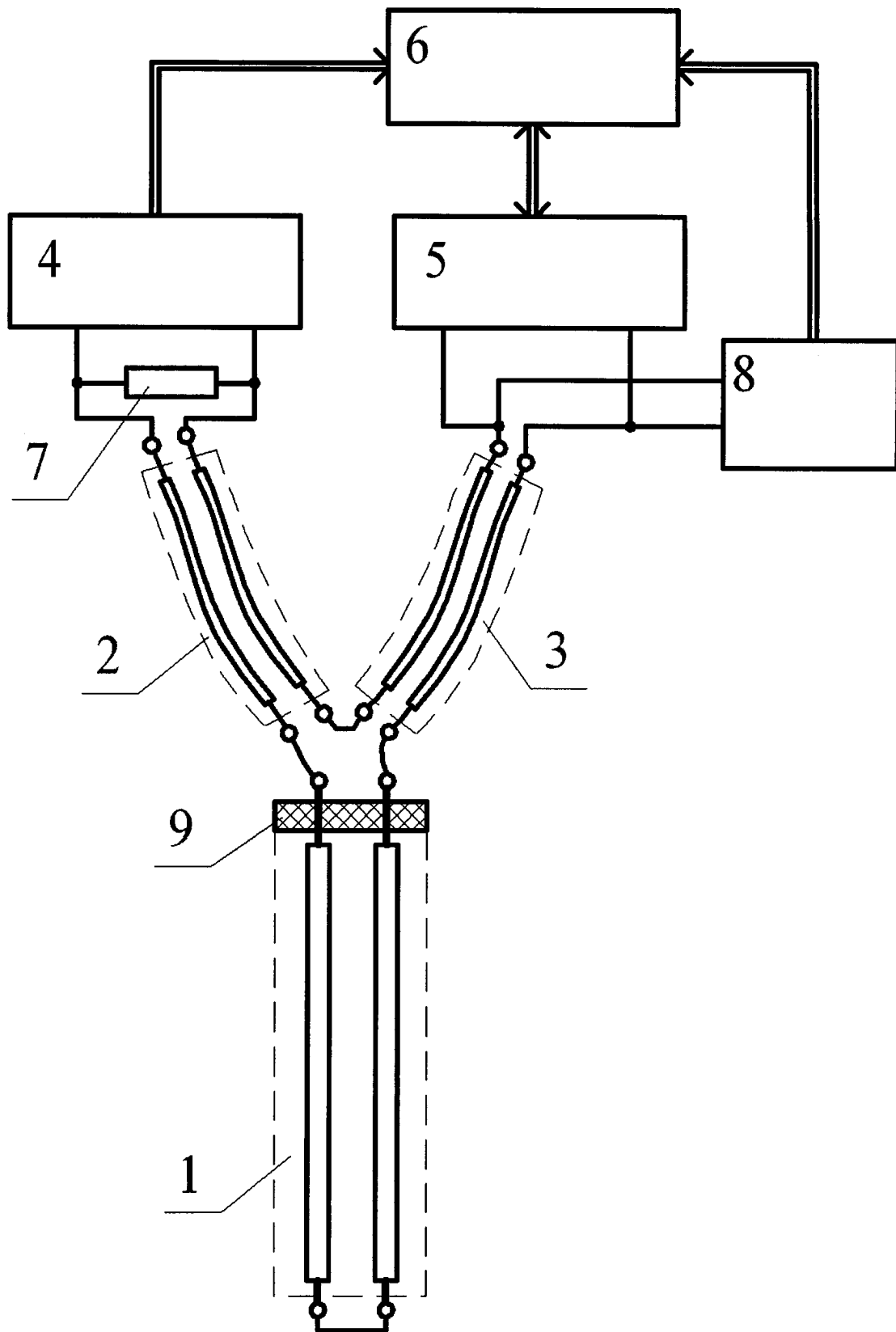
25

30

35

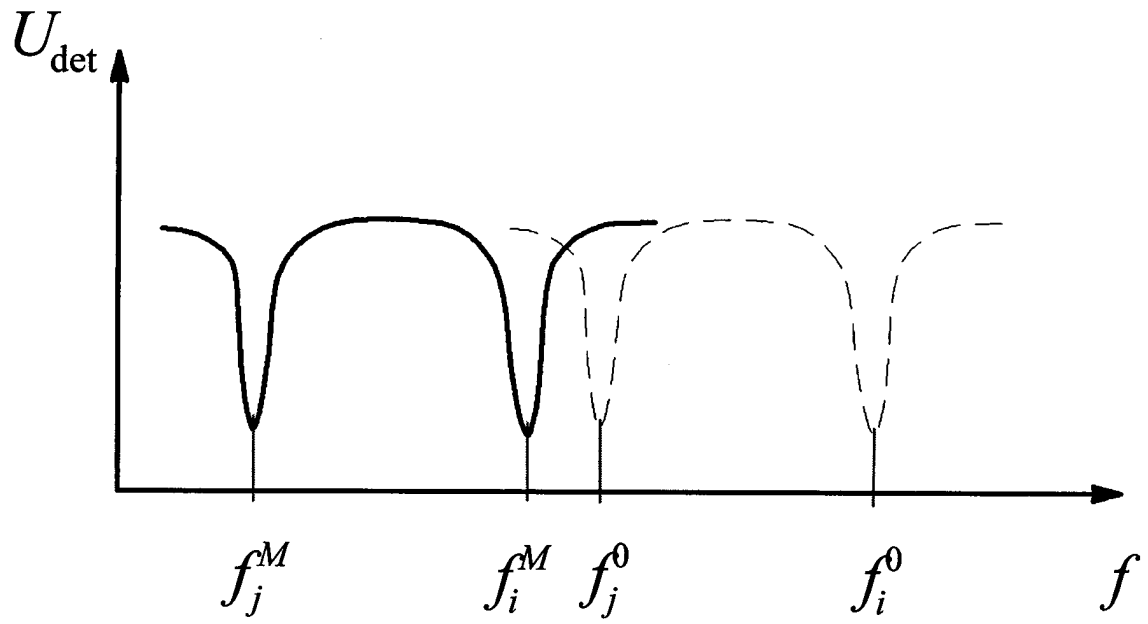
40

45

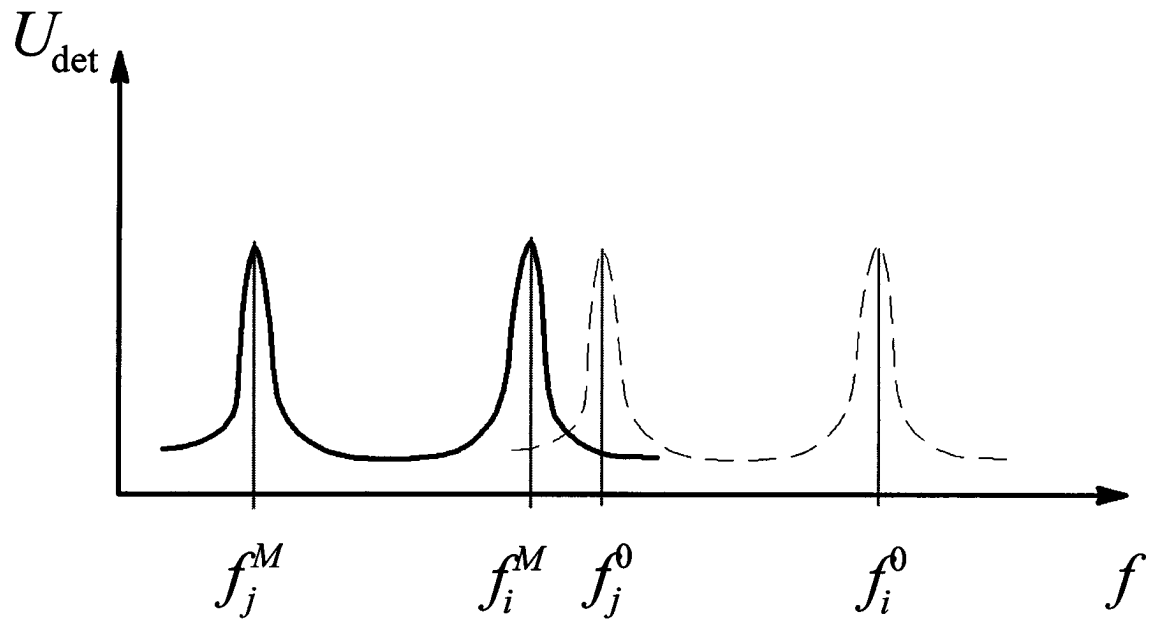


Фиг. 2





ФИГ. 3



ФИГ. 4