



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34636 (13) A

(51) 6 G01R27/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальністю
власника
патенту

(54) РЕЗОНАТОРНИЙ ЗОНД ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОМПЛЕКСНОЇ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

(21) 98105435

(22) 16.10.1998

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Мойсєєв Володимир Константинович, Васьков
Сергій Михайлович, Русаков Олег Геннадійович(73) ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ЦЕНТР
"ФОНОН"

(57) 1. Резонаторний зонд для контролю комплексної діелектричної проникності матеріалів, який містить резонатор у вигляді відрізка коаксіальної лінії передачі резонансної довжини, розімкнутої на кінці, зверненому до матеріалу, пристроїв, електромагнітного зв'язку його зі схемою виміру і плоский фланець, який відрізняється тим, що фланець виконано у вигляді діелектричної плоскої круглої пластини, встановленої на відкритому торці резонатора на одній осі з ним та металізованої по всіх твірних поверхнях, причому перший і другий плоскі провідники металізації у формі кільць, що розміщені на протилежних плоских поверхнях пластини, мають зовнішні діаметри, що дорівнюють діаметру пластини, і з'єднані між собою третім провідником металізації, нанесеним на бо-

кову поверхню пластини, внутрішній діаметр першого плоского провідника пластини, що звернений до резонатора, менший або дорівнює внутрішньому діаметру зовнішнього провідника резонатора, а внутрішній діаметр другого плоского провідника пластини металізації пластини більший внутрішнього діаметра першого провідника на величину, яка не перевищує шести товщин діелектричної пластини, діаметр пластини більший за внутрішній діаметр зовнішнього провідника резонатора й обраний з умови резонансу на робочій частоті короткозамкненого відрізка радіальної лінії передачі, утвореної провідниками металізації діелектричної пластини, при цьому перший плоский провідник металізації пластини гальванічно з'єднаний із зовнішнім провідником коаксіального резонатора, а електрична товщина діелектричної пластини менша чверті довжини робочої хвилі

2 Резонаторний зонд по п. 1, який відрізняється тим, що між резонатором і фланцем додатково каскадно підключено відрізок поза межного хвилеводу у вигляді продовження зовнішнього провідника коаксіального резонатора.

Цей винахід має відношення до галузі радіотехніки, зокрема до пристроїв, призначених для контролю характеристик рідких, сиплючих, пастоподібних і т.п. матеріалів по їх діелектричним властивостям і може бути використаний у різних галузях промисловості, таких, наприклад, як хімічна, фармацевтична, харчова, переробна та інші.

Традиційні пристрої вимірювання діелектричної проникності матеріалів передбачають розміщення досліджуваного зразка матеріалу між обкладинками вимірювального конденсатора (при вимірюванні на низьких частотах) або усередині хвилеводу чи резонатора (при вимірюванні на високих і надвисоких частотах). Комплексна діелектрична проникність матеріалу визначається розрахунковим шляхом за результатами вимірювання відхилення електричних параметрів чутливого елемента (ємності вимірювального конденсатора, кое-

фіцієнта поширення лінії передачі) при введенні в нього зразка діелектрика.

Складність аналітичних залежностей між параметрами, що безпосередньо вимірюються, і комплексною діелектричною проникністю матеріалу визначають низьку оперативність, велику трудомісткість вимірювань, необхідність виготовлення зразків спеціальної форми і високі вимоги до дотримання (хвилі геометрії і якості обробки поверхні). Так, наприклад, у патенті США № 4228393 (МКИ G01R 27/26, опубл. 14.10.1980г.), прилад містить конденсатор, усередину якого розміщено досліджуваний матеріал, у патенті Німеччини № 287334 (МКИ G01R27/26 опубл. 10.03.95г.) досліджувані діелектричним матеріалом, відповідно до патенту, заповнюють однорідну двопровідну лінію, на параметри якої (коефіцієнт поширення і хвильовий опір) цей матеріал впливає.

(13) A

(11) 34636

(19) UA

Відомі також пристрої, засновані на резонаторних способах вимірювання діелектричних властивостей матеріалів (див. Брандт А.А. Исследования диэлектриков на сверхвысоких частотах Физматиз, М 1983 г., стр.37-144).

Однак ці пристрої не забезпечують неруйнівний контроль діелектриків. У той же час відомі способи і пристрої для неруйнівного контролю матеріалів. Наприклад, у патенті США №5157337 (МКИ G01R 27/26, опубл. 20.10.1992г.), запропонований пристрій і спосіб неруйнівного контролю розподілу діелектричної проникності у плоскопаралельній діелектричній пластині кінцевої товщини, де випробуваний зразок затискується між металевію пластинію і торцем коаксіального хвильоводу. Перевагою даного приладу є локалізація зони вимірювання діелектричної проникності по пластині в межах, порівняних із поперечними розмірами коаксіальної лінії. Недоліком такого приладу є можливість застосування його тільки для зразків матеріалів певної форми. Відомі також пристрої-зонди для вимірювання властивостей "напівнескінченного" шару діелектрика. У цих пристроях торець порожнистого або коаксіального хвильоводу притискається безпосередньо до досліджуваного матеріалу (див. наприклад, патент Великобританії № 2166249, МКИ G01R 27/26, 27/04, G01V3/12, опубл. 30.04.1986 г. і статтю Н.С. Богданова "Метод расчета входной проводимости коаксиального зонда для неразрушающих измерений параметров диэлектриков", Радиотехника и электроника, 1994 р., стр. 1032 - 1038). Недоліком даних пристроїв є низька чутливість до зміни діелектричної проникності.

Найбільш близьким до пристрою, що заявляється, по технічній сутності й ефекту, що досягається, є резонаторний зонд із зовнішнім розташуванням досліджуваного матеріалу, описаний так само в статті Н.С. Богданова. Цей зонд відрізняється від викладених вище тим, що коаксіальний хвильовід, що притискається до зразка досліджуваного матеріалу, має кінцеву довжину і є складовою частиною коаксіального резонатора. Торець зовнішнього провідника зонда має фланець "безкінечних" розмірів. Недоліком такої конструкції є сильний зв'язок резонатора з зовнішнім простором і, як наслідок, низька власна добротність резонатора і велике перестроювання його частоти, а також те, що поле поблизу апертури недостатньо локалізовано. Дійсно, дифракція поля в апертурі зонда приводить до того, що помітна частина енергії поля зосереджена в максимумах ненульового порядку функції Бесселя першого роду, що призводить до невизначеності припустимих меж зони ефективної взаємодії досліджуваного матеріалу з електромагнітним полем резонатора. Крім того, у конструкції зонда не передбачені міри, що забезпечують формування плоскої границі поділу середовищ на торці зонда, що робить неможливим вимірювання діелектричних властивостей рідких, сипучих і т.п. матеріалів.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення резонаторного зонда з зовнішнім розташуванням досліджуваного матеріалу, яке, завдяки введенню нових елементів і їх розташування стосовно інших елементів, що входять у пристрій, дозволяє досягти наступний технічний результат -

збільшити локалізацію електромагнітного поля поблизу апертури зонда, забезпечити формування плоскої границі поділу діелектриків і послабити зв'язок резонатора з досліджуваним матеріалом для підвищення чутливості і точності виміру діелектричної проникності, а також знизити вимог до поперечних розмірів зразка.

Вказаний технічний результат досягається за рахунок того, що у відомому резонаторному зонді для контролю комплексної діелектричної проникності матеріалів із зовнішнім розташуванням матеріалу, що вимірюється, який містить резонатор у вигляді відрізка коаксіальної лінії передачі резонансної довжини, розімкнутої на кінці, зверненому до матеріалу, пристрої електромагнітного зв'язку його зі схемою виміру і плоский фланець, відповідно до винаходу, фланець виконано у вигляді діелектричної плоскої круглої пластини, встановленої на відкритому торці резонатора на одній осі з ним та металізованої по всіх твірних поверхнях, причому перший і другий плоскі провідники металізації у формі кілець, що розміщені на протилежних плоских поверхнях пластини, мають зовнішні діаметри, які дорівнюють діаметру пластини, і з'єднані між собою третім провідником металізації, нанесеним на бокову поверхню пластини. внутрішній діаметр першого плоского провідника пластини, що звернений до резонатора, менше або дорівнює внутрішньому діаметру зовнішнього провідника резонатора, а внутрішній діаметр другого плоского провідника пластини більше внутрішнього діаметра першого провідника на величину, яка не перевищує шести товщин діелектричної пластини. діаметр пластини більше внутрішнього діаметра зовнішнього провідника резонатора й обраний з умови резонансу на робочій частоті короткозамкнутого відрізка радіальної лінії передачі, утвореної провідниками металізації діелектричної пластини, при цьому перший плоский провідник металізації пластини гальванічно з'єднаний із зовнішнім провідником коаксіального резонатора, а електрична товщина діелектричної пластини менше чверті довжини робочої хвилі. Крім того між резонатором і фланцем додатково каскадно підключено відрізок позамежного хвильоводу у вигляді продовження зовнішнього провідника коаксіального резонатора, що дозволяє додатково послабити зв'язок резонатора з матеріалом, що вимірюється.

Нові ознаки, що властиві заявленому технічному рішення, а саме виконання фланця визначеним, заявленим способом, а також включення відрізка позамежного хвильоводу між резонатором і фланцем, забезпечує відповідність рішення, що заявляється, критерію "новизна".

Ці ознаки дозволяють досягти технічний результат, який заявляється, - збільшити локалізацію зовнішнього поля резонатора в апертурі зонда, забезпечити формування плоскої границі поділу діелектриків і послабити зв'язок резонатора з досліджуваним матеріалом, що пояснюється в такий спосіб.

Дійсно, фланець на основі діелектричної пластини, металізованої по всіх твірних поверхнях, виконує функцію плоского діелектричного вікна та сполученого з ним чвертьхвильового короткозамкнутого дроселя на основі радіальної лінії передачі. Установка діелектричного вікна на відкритому кінці

резонатора дозволяє сформувати плоску границю поділу діелектриків на апертурі резонаторного зонда при вимірюванні рідких, сипучих і пастоподібних матеріалів шляхом притиску його до матеріалу, що забезпечує однозначність результатів, підвищення точності виміру.

Включення в апертурі резонаторного зонда зазначеного НВЧ дроселя, внаслідок інверсії високочастотного потенціалу на його провідниках, приводить до "фокусування" зовнішнього електромагнітного поля резонатора і, як наслідок, до зниження частки енергії зовнішнього поля зонда в максимумах ненульового порядку дифракції поля на апертурі, тобто дозволяє підвищити локалізацію поля в досліджуваному матеріалі й одночасно послабити зв'язок резонатора з навколишнім простором і тим самим знизити його втрати на випромінювання. При цьому дослідження показали, що найбільш оптимальні фокусуючі особливості дроселя проявляються при настроюванні його в резонанс та при виборі внутрішнього діаметру другого провідника металізації пластини рівним або більшим за внутрішній діаметр першого провідника пластини на величину, яка не перевищує шести товщин діелектричної пластини. Це пояснюється тим, що у випадку, коли внутрішній діаметр другого провідника металізації менший за внутрішній діаметр першого провідника, то умови дифракції поля в зовнішнє середовище не будуть відрізнятися від умов дифракції в пристрої-прототипі. У той же час, при виборі внутрішнього діаметра другого провідника більшим за внутрішній діаметр першого провідника, внаслідок інверсії високочастотного потенціалу на ньому стосовно потенціалу першого провідника, цей провідник виконує функцію "фокусуючого електроду" для зовнішнього електромагнітного поля резонатора, що призводить до зміни дифракційної картини поля поза зондом, зменшуючи при цьому частку енергії в максимумах дифракції ненульового порядку. При цьому внутрішній діаметр другого провідника практично визначає розмір апертури зонда. Подальше збільшення внутрішнього діаметру другого провідника не ефективно через послаблення локалізації поля зонда в досліджуваному матеріалі, а також через необхідність відповідно збільшувати зовнішній діаметр пластини для забезпечення умови резонансу дроселя. Включення між резонатором і фланцем відрізка поза межного хвильоводу дозволяє додатково послабити зовнішнє поле резонатора, тобто послабити його зв'язок із навколишнім простором. Дійсно, відомо, що (див., наприклад, Мегла Г. Техніка дециметрових волн. - Советское радио, М., -1958., стр. 331) відрізок круглого хвильоводу на основному типі коливання E_{01} при $\lambda \geq \lambda_0$ являє собою поза межний хвильовід із погонним загасанням

$$\beta = 4,8 \frac{1}{D} - 4,1 \frac{1}{\lambda^2},$$

де $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ - хвильове число;

l - довжина поза межної ділянки хвильоводу;

D - його діаметр;

λ - довжина хвилі.

Для підтвердження можливості здійснення винаходу додаються наступні креслення:

Фіг.1 - загальний вигляд приладу, що заявляється.

Фіг. 2а - розподіл електричного поля в резонаторному зонді-прототипі.

Фіг. 2б - розподіл електричного поля в резонаторному зонді, що заявляється.

Резонаторний зонд, що заявляється, містить резонатор на основі відрізка коаксіальної лінії передачі, утвореної зовнішнім провідником 1 та центральним провідником 2, елементи 3 зв'язку резонатора з вимірювальною схемою, відрізок 4 поза межного круглого хвильоводу, фланець зонда, виконаний у вигляді плоскої круглої діелектричної пластини 5, металізованої по всіх поверхнях. Плоскі кільцеподібні провідники 6, 7 металізації пластини 5 з'єднані між собою провідником 8, нанесеним на бокову поверхню пластини. Плоский провідник 6 гальванічно з'єднаний із зовнішнім провідником 1 резонатора. Сукупність провідників 6, 7, 8 і пластини 5 утворюють короткозамкнений відрізок радіальної лінії передачі. Досліджуваний матеріал 9 у вигляді "натісненісненного" шару притискається до торця зонда. Діаметр пластини 5 обраний з умови резонансу короткозамкненого відрізка радіальної лінії передачі на робочій частоті з врахуванням діелектричної проникності матеріалу пластини. Пластина перекидає торець резонатора, виконуючи функцію діелектричного "вікна". Матеріал і товщина пластини 5 обрані з умови забезпечення достатньої механічної міцності "вікна" при дотриманні умови, що електрична товщина радіальної лінії передачі, конструктивною основою якої є пластина 5, не перевищує чверті довжини хвилі, для забезпечення існування в ній тільки основного типу коливань. Внутрішній діаметр провідника 6 вибирається меншим або рівним діаметру зовнішнього провідника резонатора. Внутрішній діаметр провідника 6 так само, як діаметр і довжина поза межного відрізка хвильоводу 4, вибирається з умови досягнення оптимального ступеня зв'язку резонатора з досліджуваним матеріалом.

Пристрій працює таким чином. Частина енергії електромагнітного поля резонатора через відрізок поза межного хвильоводу 4 і діелектричне вікно, утворене пластиною 5, проникає в зовнішній простір. При внесенні досліджуваного матеріалу в зовнішню частину поля змінюється резонансна частота і добротність резонатора. Елементи 3 здійснюють зв'язок резонатора з вимірювальною схемою. По зміні параметрів резонатора розраховується діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат матеріалу. Напруженість і структура зовнішньої частини електромагнітного поля резонатора визначається загасанням поза межного хвильоводу 4, а також взаємодією поля резонатора з полем НВЧ дроселя, утвореного провідниками 6,7,8 діелектричної пластини 5. Унаслідок того, що високочастотний потенціал крайки зовнішнього провідника 7 дроселя протилежний за знаком потенціалу зовнішнього провідника 1 резонатора і має той же знак, що і потенціал його центрального провідника 2, відбувається перерозподіл щільності зовнішнього поля ближче до осі зонда (фіг. 2) і обмежується "розтікання" поля по фланцю.

Таким чином резонаторний зонд, що заявляється, забезпечує неруйнівний контроль

комплексної діелектричної проникності різноманітних (у тому числі рідких, сипучих, пасто-подібних і т.п.) матеріалів із більш високою, у порівнянні з прототипом, чутливістю до зміни

діелектричної проникності досліджуваного матеріалу, а також дозволить підвищити точність вимірів при зниженні вимог до поперечних розмірів зразка.

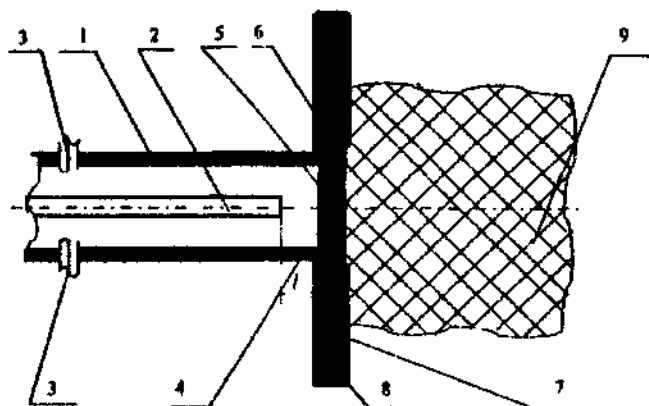


Fig. 1

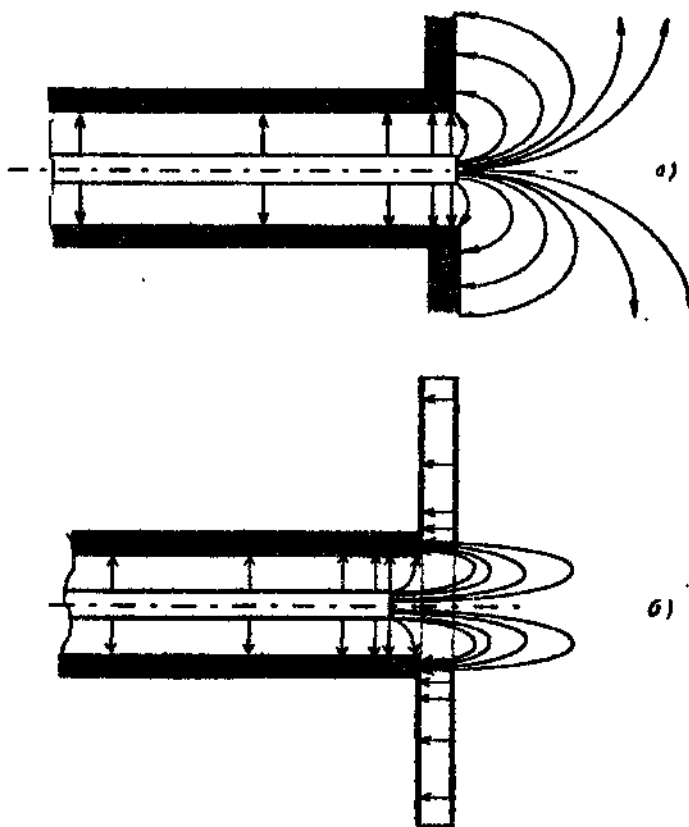


Fig. 2

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 - 72 - 89 (03122) 2 - 57 - 03