



УКРАЇНА

(19) UA (11) 59543 (13) A

(51) 7 G01R27/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ РІДИНИ НА ВИСОКИХ ЧАСТОТАХ

1

2

(21) 2002065009

(22) 18 06 2002

(24) 15 09 2003

(46) 15 09 2003, Бюл. № 9, 2003 р.

(72) Вічкань Олексій Валерійович, Мельяновський
Павло Опанасович(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ІМ. О. Я. УСІКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ(57) Спосіб вимірювання комплексної діелектричної
проникності рідини на високих частотах, який
полягає у збудженні коливального контуру при
наявності і у відсутності в ньому рідини, що досліджується,
вимірюванні відбитого сигналу від контуру,
який відрізняється тим, що високочастотний
сигнал подають у коливальний контур по спрямованому
відгалужувачу, відгалужувач узгоджують з
контуром, приймають відбитий сигнал та падаючий
сигнал, відбитий сигнал зрівнюють за фазою з
падаючим, вимірюють частоти f_{00} , f_{10} , f_{20} високочастотногосигналу при фазових зсувах 0° , $+45^\circ$, -45°
відбитого сигналу від контуру без рідини, вимірюють
частоти $f_{0\varepsilon}$, $f_{1\varepsilon}$, $f_{2\varepsilon}$ контуру з рідиною, а дійсну та уявну частини комплексної діелектричної
проникності визначають по формулах

$$\varepsilon' = \left(\frac{f_{00}}{f_{0\varepsilon}} \right)^2,$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \left(\frac{f_{2\varepsilon} - f_{1\varepsilon}}{f_{0\varepsilon}} - \frac{f_{20} - f_{10}}{f_{00}} \right),$$

де f_{00} , $f_{0\varepsilon}$ - резонансні частоти контуру з рідиною і без рідини, відповідно, f_{10} , $f_{1\varepsilon}$ - частоти контуру з рідиною і без рідини, які відповідають фазовому куту $+45^\circ$, відповідно, f_{20} , $f_{2\varepsilon}$ - частоти контуру з рідиною і без рідини, які відповідають фазовому куту -45° , відповідноВинахід відноситься до вимірювання діелектричної
проникності сильнопоглинаючих речовин в
діапазоні високих радіочастот і може знайти використання в
системах високочастотного нагріву речовин в галузях
народного господарства, пов'язаних з виробництвом,
зберіганням та використанням неметалевих матеріалівАктуальність створення нових способів вимірювання
параметрів діелектричної проникності різних речовин на
радіочастотах визначається необхідністю застосування
високочастотного нагріву цих речовин на етапах їх
виробництва та обробкиВ теперішній час розроблені різні способи для
вимірювання комплексної діелектричної проникності
різних речовин, які використовують частотні діапазони
від надзвичайно низьких (ННЧ) до надзвичайно високих
частот (НВЧ). Але всі вони не володіють достатньою
точністю, універсальністю і технологічністюВідомий спосіб резонансного вимірювання параметрів
діелектричної проникності речовин (Я. Ю.Ахадов. Диэлектрические свойства чистых жидкостей — М. Изд. Стандарт 1972, стр. 30), який
полягає у збудженні у резонансному контурі (резонаторі),
який містить речовину, що досліджується, електромагнітних
коливань, вимірювання амплітуди і частоти коливань, за
величиною яких визначають резонансну частоту f_0 та добротність
 Q контуру (резонатора), по яких судять про діелектричну
проникність

$$\varepsilon' = \left(\frac{f_0}{f_\varepsilon} \right)^2, \quad (1)$$

та коефіцієнт втрат

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \left(\frac{1}{Q_\varepsilon} - \frac{1}{Q_0} \right) \quad (2)$$

де f_0 , Q_0 та f_ε , Q_ε резонансні частоти і добротності
контуру (резонатора) незаповненого і заповненого
речовиною, що досліджується, відповідноОсновним недоліком цього способу є використання
амплітуди сигналу, як інформаційного параметру

(13) A

(11) 59543

(19) UA

метру, що накладає певні умови до стабільності параметрів вимірювальної схеми для точного вимірювання резонансної частоти контуру (резонатора)

Відомий спосіб вимірювання частоти коливального контуру, який здійснюється за допомогою настройки зовнішнього генератора на резонансну частоту контуру за допомогою системи, яка слідує (Измерительная техника — 1989 — № 9, с. 43). Спосіб дозволяє суттєво знизити вплив вимірювальної схеми на величину частоти, що вимірюється.

Згідно цього способу, колювання керуваного високочастотного генератора, промодульовані за частотою, поступають на досліджуємі контур. При точній настройці частоти генератора на резонансну частоту контуру частотна модуляція сигналу викликає появу в спектрі амплітудномодульованих (АМ) складових з подвійною частотою модуляції. При малих відносних розстройках контуру і генератора вихідний сигнал буде містити АМ складову модуляції на основній частоті. Глибина цієї модуляції пропорційна добротності контуру та його розстройці відносно несучої частоти генератора. Зсув фаз відносно до сигналу опорного генератора залежить від знаку розстройки.

З'явлення модуляції на основній частоті використовується для формування сигналу помилки.

До недоліків цього способу слід віднести вимогу симетричності резонансної кривої коливального контуру і залежність результатів вимірювань від флуктуацій фази генератора та фазового набігу в елементах вимірювальної схеми, що може зводити до значної похибки результатів вимірювання діелектричних параметрів речовин з великими втратами. Аналогом запропонованого технічного рішення є спосіб вимірювання діелектричних параметрів речовин, яким полягає в тому, що містить два джерела високочастотного сигналу Γ_0 , Γ_e , канал вимірювання діелектричної проникності ϵ' та канал вимірювання коефіцієнту втрат ϵ'' (Приборы и Техника Эксперимента — 1984 — № 1, с. 103 - 104). Частота генераторів Γ_0 та Γ_e утримуються рівними відповідно частотам f_0 пустого контуру і f_e контуру, який заповнений речовиною, що досліджується.

При малій відносній розстройці генераторів різниця діелектричної проникності речовини в опорному і вимірювальному каналах визначається розстройкою генераторів за частотою і діелектричною проникністю речовини в контурі опорного каналу

$$\Delta\epsilon' = 2\epsilon'_0 \frac{f_e - f_0}{f_0}, \quad (3)$$

де ϵ'_0 - діелектрична проникність речовини в контурі опорного каналу,

f_0 - частота пустого контура,

f_e - частота контура, який заповнений речовиною, що досліджується.

Різниця частот генераторів визначається частотоміром. Блоки автоматичної підстройки частот забезпечують підтримку частот генераторів рівними резонансним частотам опорного і вимірювального контуру.

Коефіцієнт втрат ϵ'' речовини, що досліджується, вимірюють способом порівняння потужності високочастотних колювань в лінії передачі до і після

вимірювального контуру. Різницю коефіцієнтів втрат речовини в опорному та вимірювальному контурах визначають по вимірюванню напруги ΔU_k в лінії передачі і добротності контуру за формулою

$$\Delta\epsilon'' = \frac{\epsilon'}{Q_k} \cdot \frac{\Delta U_k}{U_k} \quad (4)$$

де U_k - напруга, що подається до контуру,

ΔU_k - напруга, що вимірюється в контурі,

Q_k - добротність контуру,

ϵ - діелектрична проникність речовини.

Основними недоліками цього способу є використання амплітуди прийнятого сигналу як інформаційного параметру, необхідність наявності окремого еталонного каналу, складність точного вимірювання резонансних частот еталонного і вимірювального коливальних контурів (резонаторів), що може призвести до великих погрешностей результатів вимірювання діелектричної проникності сильнопоглинаючих речовин.

Найбільш близьким аналогом (прототипом) технічного рішення, що пропонується, є спосіб вимірювання комплексної діелектричної проникності рідких речовин шляхом розташування шару рідини, що досліджується, у короткозамкнутому хвилеводі і вимірювання величини від розсіяного від нього високочастотного сигналу (см а с СССР № 12707222 М кл.³ G 01 R 27/26), встановлюють початкову товщину шару рідини, що досліджується, рівній трьом чвертям довжини хвилі у хвилеводі, заповненим рідиною, що досліджується, компенсують відбитий від цього шару високочастотний сигнал опорним сигналом, та при зміні товщини вказаного шару фіксують два значення товщини дослідженого шару, при яких величини відбитих високочастотних сигналів дорівнюють величині сигналу, відбитого від шару рідини, що досліджується, з початковою товщиною і за вказаними формулами обчислюють значення дійсної частини діелектричної проникності ϵ' та куту втрат δ .

Основним недоліком цього способу (прототипу) є варіювання об'ємом рідини, що досліджується, компенсація відбитого від цього об'єму високочастотного сигналу опорним сигналом, рівним по амплітуді і фазі відбитому сигналу, погрешності, пов'язані з визначенням товщини шару рідини, і складність обчислювальних формул для визначення дійсної частини діелектричної проникності ϵ' і куту втрат δ .

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити спосіб вимірювання комплексної діелектричної проникності рідини на високих частотах шляхом заміни амплітудно-фазових вимірювань високочастотних відбитків від комірки з речовиною, що досліджується, з змінним об'ємом, фазовими вимірюваннями при незмінному об'ємі, що призводить до підвищення точності вимірювань.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі вимірювання комплексної діелектричної проникності рідини на високих частотах, який полягає у збудженні коливального контуру при наявності та у відсутності рідини, що досліджується, в контурі, вимірювання відбитого сигналу від контуру, високочастотний сигнал подають у коливальний контур по спрямованому відгалужувачу, відгалужувач узгоджують з контуром, приймають

відбитий сигнал і падаючий сигнал, відбитий сигнал зрівнюють за фазою з падаючим, вимірюють частоти f_{00} , f_{10} , f_{20} високочастотного сигналу при фазових зсувах 0° , $+45^\circ$, -45° відбитого сигналу від контуру без рідини, вимірюють частоти f_{0e} , f_{1e} , f_{2e} контуру з рідиною, а матеріальну та уявну частини комплексної діелектричної проникності визначають по формулах

$$\varepsilon' = \left(\frac{f_0}{f_\varepsilon} \right)^2, \quad (5)$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \left(\frac{f_{2e} - f_{1e}}{f_{0e}} - \frac{f_{20} - f_{10}}{f_{00}} \right), \quad (6)$$

де f_{00} , f_{0e} - резонансні частоти контуру з рідиною і без рідини, відповідно,

f_{10} , f_{1e} - частоти контуру з рідиною і без рідини, які відповідають фазовому куту $+45^\circ$, відповідно,

f_{20} , f_{2e} - частоти контуру з рідиною і без рідини, які відповідають фазовому куту -45° , відповідно

Спосіб, який пропонується, може бути здійснено, наприклад, за допомогою пристрою, структурна схема якого показана на кресленні (фиг.)

Високочастотні коливання керованого за частотою генератора 1 подають до спрямованого відгалужувача 2, який узгоджений з коливальним контуром (резонатором) 3, який містить досліджувану речовину

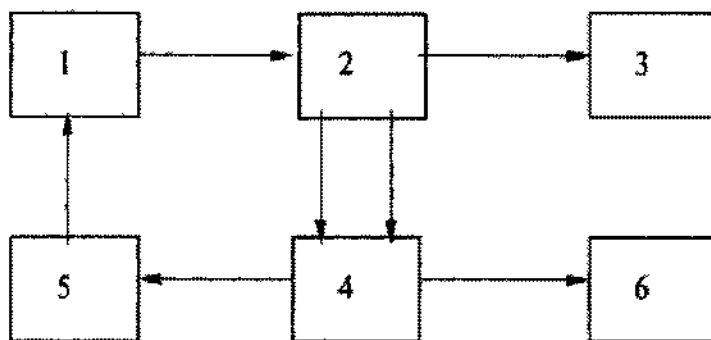
Сигнали, які пропорційні падаючій $U_{пад}$ і відбитій $U_{відб}$ хвилям, подають в пристрій 4 вимірювання фазових зсувів відбитої хвилі відносно падаючої (опорної) хвилі. Вимірюють значення частот f_{00} , f_{10} , f_{20} при фазових зсувах відбитого сигналу відносно опорного, рівних 0° , $+45^\circ$, -45° при незапов-

неній комірці 3 рідиною, що досліджується. Заповнюють комірку 3 речовиною, що досліджується і вимірюють в пристрої 4 значення частот f_{0e} , f_{1e} , f_{2e} високочастотного сигналу при фазових зсувах відбитого сигналу 0° , $+45^\circ$, -45° відносно опорного (сигналу падаючої хвилі). Виміряні значення частот f_0 , f_1 , f_2 подають до обчислювача 6 і визначають матеріальну ε' і уявну ε'' частини комплексної діелектричної проникності по формулах (5, 6)

Підвищення точності результатів вимірювання комплексної діелектричної проникності речовини в цьому способі досягається за рахунок використання відносного методу вимірювання фазових зсувів при незмінному об'ємі речовини, що досліджується, на трьох частотах, значення яких з високою точністю зв'язані з значеннями встановлених фазових зсувів

Підвищення помехостійкості до зовнішніх перешкод цього способу досягається за рахунок використання каналізуючого високочастотного тракту, який містить спрямований відгалужувач, узгоджений з вимірювальною коміркою

Таким чином, запропонований спосіб вимірювання комплексної діелектричної проникності рідини забезпечує підвищення точності і надійності результатів вимірювань. Спосіб також характеризується простою схемною реалізацією з використанням стандартних схемних вузлів. В теперішній час цей спосіб здійснено в пристрої, лабораторні іспити якого підтвердили підвищення точності та надійності вимірювань, технологічність при вимірюванні комплексної діелектричної проникності будь-яких рідин



Фиг.