



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **31390** (13) **U**  
(51) МПК (2006)  
**G01N 22/00**  
**G01R 29/08**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) РАДІОМЕТРИЧНИЙ ДЕФЕКТОСКОП

1

2

(21) u200712106

(22) 01.11.2007

(24) 10.04.2008

(46) 10.04.2008, Бюл.№ 7, 2008 рік

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, ШЕВ-  
ЧЕНКО КОСТЯНТИН ЛЕОНІДОВИЧ, UA, КУЦЕН-  
КО ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ, UA, ТРЕГУБОВ  
МИКОЛА ФЕДОРОВИЧ, UA

(73) КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA

(57) Радіометричний дефектоскоп, що містить дві  
НВЧ антени, виходи яких з'єднані з входами НВЧ  
перемикача, а до виходу останнього підключені  
послідовно з'єднані НВЧ підсилювач, НВЧ змішу-  
вач, підсилювач проміжної частоти і квадратичний  
детектор, комутаційний генератор, вихід якого  
з'єднаний з керуючим входом НВЧ перемикача,

НВЧ гетеродин, підключений до другого входу  
НВЧ змішувача, і реєстратор, який відрізняється  
тим, що в нього додатково введені диференціаль-  
ний підсилювач відеоімпульсів, джерело компен-  
суючої напруги, логарифмічний перетворювач,  
автоматичний перемикач, два згладжуючих резис-  
тори і два накопичувальних конденсатори, які че-  
рез згладжуючі резистори з'єднані з виходами ав-  
томатичного перемикача, вхід якого через  
логарифмічний перетворювач з'єднаний з виходом  
диференціального підсилювача відеоімпульсів,  
прямий вхід якого з'єднаний із джерелом компен-  
суючої напруги, а інверсний вхід - з виходом квад-  
ратичного детектора, керуючий вхід автоматично-  
го перемикача з'єднаний з керуючим входом НВЧ  
перемикача, а реєстратор включений між накопи-  
чувальними конденсаторами.

Корисна модель відноситься до надвисокочас-  
отної дефектоскопії і може бути використана для  
виявлення внутрішніх дефектів у виробках з діелек-  
тричних матеріалів за рівнем власного електромаг-  
нітного випромінювання.

Для оцінки якості виробів з діелектричних ма-  
теріалів на основі кераміки, аморфного скла, висо-  
комолекулярних полімерів і ін. використовують  
радіометричні дефектоскопи, робота яких засно-  
вана на прийманні і аналізі радіотеплового випро-  
мінювання надвисокочастотного (НВЧ) діапазону  
[див. Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л., Куценко В.П. і  
ін. Радіометричний контроль складу та стану об'є-  
ктів живої та неживої природи. // Вісник КНУТД,  
№2(22), 2005.-С.13-18.].

Завдяки високій радіопрозорості діелектрич-  
них матеріалів радіотеплове випромінювання на  
відміну від інфрачервоного формується не тільки  
поверхнею контрольованого виробу, але і його  
глибинними структурами. При наявності внутрішніх  
дефектів (пужирців, розшарувань, мікротріщин і ін.)  
рівень випромінювання з поверхні виробу в зоні  
дефекту помітно зменшується. Причому, чим ме-  
нше довжина хвилі прийнятого випромінювання,  
тим більш дрібні дефекти можуть бути виявлені

[див. Куценко В.П., Скрипник Ю.А., Трегубов Н.Ф. и  
др. Радиометрический контроль состава и свойств  
диэлектрических материалов //Материалы 16-ой  
международной конференции «СВЧ техника и те-  
лекоммуникационные технологии» (Крымско-  
2006)-Севастополь: «Вебер», 2006. - С.762-764].

Через малий рівень радіотеплового випромін-  
ювання, що являє собою шумовий сигнал, прийня-  
ти його і проаналізувати на фоні власних шумів  
підсилювачів і інших активних елементів вимірю-  
вальної схеми досить важко. Тому в якості прийом-  
ної апаратури використовують НВЧ радіометри,  
які забезпечують можливість вимірювання прийня-  
тих шумових сигналів одного порядку або навіть  
менше власних шумів елементів радіометричної  
схеми [див. Скрипник Ю.О., Манойлов В.П., Янен-  
ко О.П. Модуляційні радіометричні пристрої та  
системи НВЧ діапазону: Навчальний посібник. -  
Житомир: ЖІТІ, 2001 – С.162-177]. Проте для здій-  
снення дефектоскопії виробів за власним елект-  
ромагнітним випромінюванням необхідні двоходові  
радіометричні схеми, які містять дві антени і вимі-  
рювальну схему порівняння. Це дозволяє прийма-  
ти випромінювання від опорної (зразкової) ділянки  
виробу і контрольованої ділянки та оцінювати їх

(19) **UA** (11) **31390** (13) **U**

різницю.

Відомий радіометричний дефектоскоп [див. Головок Д.Б., Скрипник Ю.О., Яненко О.П. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин: Навч. посібник - К.: Либідь, 2003 - С.81-85], що містить дві приймальні антени, НВЧ перемикач, подвійний хвилеводний трійник, НВЧ змішувач із гетеродином, підсилювач проміжної частоти, квадратичний детектор, підсилювач низької частоти, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і індикатор.

В якості схеми порівняння використовується одноканальна сума-різницева схема з квадратором.

Однак теплові шуми в різних ділянках контрольованого виробу слабко між собою корельовані. Тому виявити дефектну ділянку у виробі за кореляційним моментом, у значеннях якого градується вихідний індикатор, важко.

Відомий також радіометричний дефектоскоп [див. патент України №27651, МІЖ G01R29/08, 2000р.], який містить дві НВЧ антени, виходи яких з'єднані з входами НВЧ перемикача, а до виходу останнього підключені послідовно з'єднані НВЧ підсилювач, НВЧ змішувач, підсилювач проміжної частоти і квадратичний детектор, комутаційний генератор, вихід якого з'єднаний з керуючим входом НВЧ перемикача, НВЧ гетеродин, підключений до другого входу НВЧ змішувача, і реєстратор. Крім того схема містить генератор шуму, керований атенюатор, блок керування, погоджене навантаження і подвійний хвилеводний трійник в якості суматора, а також послідовно з'єднані підсилювач низької частоти і синхронний детектор.

Можливість виміру різниці інтенсивностей некогерентних випромінювань від порівнюваних ділянок контрольованого виробу підвищує вірогідність виявлення локальних порушень у структурі і складі діелектричних матеріалів. Проте результат порівняння в диференціальному радіометрі значною мірою залежить від нестабільності коефіцієнтів підсилення НВЧ підсилювача і підсилювача проміжної частоти, крутісті перетворення НВЧ змішувача і квадратичного детектора, мінливості потужності НВЧ гетеродина, а також нестабільності температури контрольованого виробу. Тому ймовірність виявлення і кількісної оцінки дефектів у структурі матеріалу виробу залишається низькою.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий радіометричний дефектоскоп, у якому шляхом введення нових елементів і зв'язків виключався б вплив нестабільності параметрів схеми порівняння НВЧ сигналів і мінливості температури виробу на результат контролю, що забезпечить підвищення вірогідності виявлення локальних структурних порушень і змін складу матеріалу при скануванні поверхні виробу без його руйнування.

Поставлена задача вирішується тим, що в радіометричний дефектоскоп, який містить дві НВЧ антени, виходи яких з'єднані з входами НВЧ перемикача, а до виходу останнього підключені послідовно з'єднані НВЧ підсилювач, НВЧ змішувач, підсилювач проміжної частоти і квадратичний де-

тектор, комутаційний генератор, вихід якого з'єднаний з керуючим входом НВЧ перемикача, НВЧ гетеродин, підключений до другого входу НВЧ змішувача, і реєстратор, згідно з корисною моделлю, введені диференціальний підсилювач відеоімпульсів, джерело компенсуючої напруги, логарифмічний перетворювач, автоматичний перемикач, два згладжуючих резистори і два накопичувальних конденсатори, які через згладжуючі резистори з'єднані з виходами автоматичного перемикача, вхід якого через логарифмічний перетворювач з'єднаний з виходом диференціального підсилювача відеоімпульсів, прямий вхід якого з'єднаний із джерелом компенсуючої напруги, а інверсний вхід - з виходом квадратичного детектора, керований вхід автоматичного перемикача з'єднаний з керованим входом НВЧ перемикача, а реєстратор включений між накопичувальними конденсаторами.

Введення в схему радіометричного дефектоскопа диференціального підсилювача відеоімпульсів, джерела компенсуючої напруги, логарифмічного перетворювача, автоматичного перемикача, двох згладжуючих резисторів і двох накопичувальних конденсаторів, включених зазначеним образом, дозволяє із двох НВЧ сигналів одноканального тракту порівняння виділити квадратичним детектором два відеоімпульси різних амплітуд. Диференціальним підсилювачем із джерелом компенсуючої напруги придушити вплив власних шумів тракту порівняння у сформованих відеоімпульсах, які пропорційні прийнятим антенами НВЧ сигналам. Далі прологарифмувати відеоімпульси логарифмічним перетворювачем і за допомогою згладжуючих резисторів і накопичувальних конденсаторів одержати напругу, пропорційну різниці логарифмів порівнюваних напруг. Завдяки тому що логарифм різниці напруг дорівнює логарифму відношення цих напруг, вихідна напруга запропонованої схеми дефектоскопа не залежить від нестабільності коефіцієнтів перетворення елементів одноканальної схеми порівняння і змін температури контрольованого виробу, що забезпечує підвищення вірогідності виявлення локальних структурних порушень і змін складу матеріалу при скануванні поверхні виробу без його руйнування.

На кресленні представлена функціональна електрична схема радіометричного дефектоскопа.

НВЧ антени 1 і 2 з'єднані із входами НВЧ перемикача 3, до виходу якого через НВЧ підсилювач 4 підключений одним входом НВЧ змішувач 5. Інший вхід НВЧ змішувача з'єднаний з виходом НВЧ гетеродина 6 з регульованою частотою. До виходу НВЧ змішувача 5 підключені послідовно з'єднані підсилювач 7 проміжної частоти і квадратичний детектор 8. Інверсний вхід диференціального підсилювача відеоімпульсів 9 з'єднаний з виходом квадратичного детектора 8, а прямий вхід з'єднаний із джерелом регульованої компенсуючої напруги 10. До виходу диференціального підсилювача відеоімпульсів 9 через логарифмічний перетворювач 11 підключений вхід автоматичного перемикача 12, до одного із входів якого через згладжуючий резистор 13 підключений накопичувальний конденсатор 14, а до іншого - через згла-

джуючий резистор 15 - накопичувальний конденсатор 16. Між потенційними електродами накопичувальних конденсаторів включений реєстратор 17. Комутаційний генератор 18 своїм виходом з'єднаний з керуючими входами НВЧ перемикача 3 і автоматичного перемикача 12.

Позицією 19 позначений виріб з діелектричного матеріалу, а позицією 20 - один з локальних дефектів.

Радіометричний дефектоскоп працює таким чином.

НВЧ антеною 1 приймають радіотеплове випромінювання від свідомо бездефектної ділянки контрольованого виробу 19. НВЧ антену 2 переміщують щодо поверхні контрольованого виробу в пошуках дефекту. Тому що радіотеплове випромінювання пропорційно температурі, а прийняте випромінювання залежить від розмірів і параметрів антени, потужність опорного випромінювання від НВЧ антени 1 має вигляд

$$P_1 = S_1 T_1 (1)$$

де:  $S_1$  - крутість перетворення електромагнітного випромінювання в радіосигнал;

$\beta_1$  - коефіцієнт випромінювальної здатності виробу;

$T_1$  - термодинамічна температура виробу.

Радіотеплове випромінювання, прийняте скануючою НВЧ антеною 2 від виробу з локальним дефектом 20, ослаблене:

$$P_2 = S_2 \beta_2 T_2 (1 - \gamma), (2)$$

де  $S_2 = S_1$  - крутість перетворення другої антени;

$\beta_2$  і  $T_2$  - коефіцієнт випромінювальної здатності і термодинамічна температура виробу у зоні дефекту;

$\gamma$  - коефіцієнт ослаблення електромагнітного випромінювання, що залежить від розмірів і глибини розташування дефекту.

При підключенні НВЧ перемикачем 3 НВЧ антени 1 до НВЧ підсилювача 4 НВЧ сигнал шумового характеру з потужністю (1) підсилюється і змішується у НВЧ змішувачі 5 із сигналом НВЧ гетеродина 6. У результаті змішування шумового сигналу з гармонійним сигналом НВЧ гетеродина 6 утворюються складові різницевої частоти, які виділяються і підсилюються підсилювачем 7 проміжної частоти в смугі його пропускання. Посилені коливання детектуються квадратичним детектором 8, у результаті чого утворюється постійна складова напруги

$$U_1 = S_3 K_1^2 P_1 P_3 \Delta f (3)$$

де  $S_3$  - крутість гетеродинного перетворення НВЧ сигналів [В/Вт<sup>2</sup> Гц];

$K_1$  - загальний коефіцієнт підсилення НВЧ підсилювача 4 і підсилювача проміжної частоти 7;

$P_3$  - потужність НВЧ гетеродина 6;

$\Delta f$  - смуга пропускання підсилювача 7 проміжної частоти і фільтра квадратичного детектора 8.

При радіотепловому контролі потужність прийнятого сигналу  $P_1$  мала і порівняна з потужністю власних шумів НВЧ підсилювача 4 і НВЧ змішувача 5 з гетеродином 6. Тому постійна складова напруги (3) у реальних умовах контролю має вигляд:

$$U_2 = S_3 K_1^2 (P_1 + P_0) P_3 \Delta f (4)$$

де  $P_0$  - потужність власних шумів, приведених до входу НВЧ підсилювача 4.

У протилежному положенні НВЧ перемикача 3 на вхід НВЧ підсилювача 4 впливає сигнал потужністю  $P_2$ , а на виході квадратичного детектора 8 формується постійна складова напруги

$$U_3 = S_3 K_1^2 (P_2 + P_0) P_3 \Delta f. (5)$$

При періодичному перемиканні НВЧ антен 1 і 2 НВЧ перемикачем 3, що керується прямокутною напругою комутаційного генератора 18, вихідна напруга квадратичного детектора 8 має вигляд відеоімпульсів прямокутної форми з амплітудами  $U_2$  і  $U_3$ . Відеоімпульси, що чергуються за часом, надходять на один вхід диференціального підсилювача відеоімпульсів 9, на другий вхід якого надходить компенсуюча напруга від джерела 10. Значення, компенсуючої напруги вибирають із умови придушення впливу власних шумів одноканального перетворювального тракту на розходження амплітуд відеоімпульсів (4) і (5). Для цього при екрануванні НВЧ антен 1 і 2 ( $P_1 = P_2 = 0$ ) регулюванням компенсуючої напруги джерела 10 домагаються відсутності постійної складової на виході диференціального підсилювача відеоімпульсів 9 ( $U_2 = U_3 = 0$ ).

У випадку прояву дефекту в контрольованому виробі амплітуди відеоімпульсів (при подавленому значенні  $P_0$ ) відмінні від нуля:

$$U'_2 = S_3 K_1^2 P_1 P_3 \Delta f (6)$$

$$U'_3 = S_3 K_1^2 P_2 P_3 \Delta f (7)$$

У нелінійному перетворювачі 11 відеоімпульси (6) і (7) по черзі піддаються логарифмічному перетворенню і через автоматичний перемикач 12, що працює синхронно з НВЧ перемикачем 3, розділено усереднюються і запам'ятовуються. У якості усереднюючих і запам'ятовувальних елементів використовуються інтегруючі ланцюжки із згладжуючих резисторів 13, 15 і накопичувальних конденсаторів 14, 16. Так, в один такт комутації конденсатор 14 заряджається до напруги

$$U_4 = K_2 S_4 \ln U'_2 + \Delta U, (8)$$

а в інший такт комутації конденсатор 16 заряджається до напруги

$$U_5 = K_2 S_4 \ln U'_3 + \Delta U (9)$$

де  $K_2$  - коефіцієнт передачі інтегруючого ланцюжка;

$S_4$  - крутість логарифмічного перетворювача 11;

$\Delta U$  - напруга зсуву нуля логарифмічного перетворювача 11.

На реєстратор 17 надходить різницева напруга з накопичувальних конденсаторів 14 і 16

$$U_6 = U_4 - U_5 = K_2 S_4 \ln \frac{U'_2}{U'_3} (10)$$

Підставляючи в (10) значення  $U'_2$  з (6) і  $U'_3$  з (7), одержуємо

$$U_6 = K_2 S_4 \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (11)$$

З огляду на вирази (1) і (2), остаточно одержимо

$$U_6 = K_2 S_4 \ln \frac{\beta_1 T_1}{\beta_2 T_2 (1-\gamma)} \quad (12)$$

Варто врахувати, що радіотепловий контроль за допомогою запропонованої схеми здійснюється двома антенами, спрямованими на один нагрітий виріб. Отже, коефіцієнти  $\beta_1$  і  $\beta_2$ , а також температури  $T_1$  і  $T_2$  практично однакові. Тому напруга, що реєструється

$$U_6 = K_2 S_4 \ln \frac{1}{1-\gamma} = -K_2 S_4 \ln(1-\gamma) \quad (13)$$

Розкладаючи логарифмічну функцію в степе-  
невий ряд і з огляду на те, що коефіцієнт  $\gamma \ll 1$ ,  
остаточно одержимо позитивну напругу

$$U_7 = K_2 S_4 \gamma \quad (14)$$

З отриманого виразу (14) видно, що напруга  $U_7$  пропорційна коефіцієнту ослаблення електро-  
магнітного випромінювання, тобто пропорційна  
геометричним розмірам і глибині розташування  
виявленого дефекту. При цьому результат контро-  
лю не залежить від температури ( $T$ ) і випроміню-  
вальної здатності ( $\beta$ ) самого виробу. Не впливає  
на результат виміру також нестабільність коефіці-  
єнтів перетворення електронних вузлів НВЧ де-

фектоскопа ( $S_1, S_2, S_3$  і  $K_1$ ), а також мінливість по-  
тужності гетеродина ( $P_3$ ) і рівень власних шумів  
( $P_0$ ). Зсув напруги нуля логарифмічного перетво-  
рювача ( $\Delta U$ ) і неповна компенсація власних шумів  
не впливають на стабільність нуля запропоновано-  
го дефектоскопа, тому що їхня присутність не про-  
являється в різницевій напрузі (10), по значенню  
якої реєструється дефект.

Проведені дослідження і комп'ютерне моде-  
лювання показало можливість виявлення і оцінки  
локальних дефектів, які викликають відносно  
ослаблення власного електромагнітного випромін-  
ювання в діапазоні НВЧ, починаючи з  
0,01...0,05% (коефіцієнт ослаблення  $\gamma = 10^{-4}$ ...  
... $5 \cdot 10^{-4}$ ).

При загальному коефіцієнті підсилення одно-  
канального тракту порівняння до 80дБ флуктуа-  
ційний поріг чутливості схеми порівняння стано-  
вить  $10^{-20}$ ... $5 \cdot 10^{-21}$  Вт/Гц при частоті перемикання  
НВЧ антен 1000Гц. Температура нагрівання кон-  
трольованого виробу повинна перебувати в межах  
320...330К, для чого можна використовувати тех-  
нологічне нагрівання виробів, наприклад, із квар-  
цової кераміки, у процесі їхнього виготовлення.  
Отримані результати підтвердили можливість кон-  
тролю нерівномірності щільності кварцової керамі-  
ки в межах 1,5...2,5г/см<sup>2</sup> і пористості в межах  
6...12% по всій поверхні виробу.

