



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **79532** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
**G01N 22/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

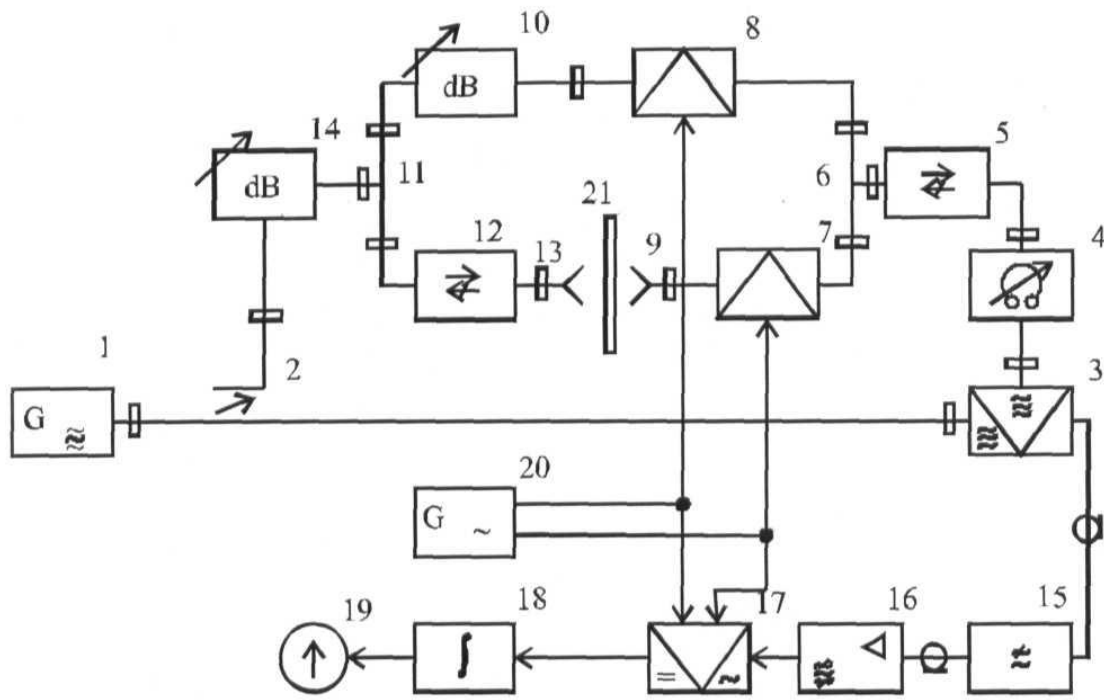
(21) Номер заявки: <b>u 2012 12192</b>	(72) Винахідник(и): <b>Скрипник Юрій Олександрович (UA), Шевченко Костянтин Леонідович (UA), Слізков Андрій Миколайович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>24.10.2012</b>	(73) Власник(и): <b>КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ-11, 01601 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.04.2013</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.04.2013, Бюл.№ 8</b>	

## (54) РАДІОМЕТРИЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ В НИЗЬКОІНТЕНСИВНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛЯХ

### (57) Реферат:

Радіометричний пристрій для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях містить дві антени, два ключі-модулятори, два вентиля, хвилевідний трійник, балансний змішувач, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач, синхронний детектор, інтегратор і індикатор, хвилевідний атенюатор та генератор низької частоти. Додатково в пристрій введені направлений відгалужувач, смуговий хвилевідний фільтр, додатковий хвилевідний трійник, фільтр нижніх частот, додатковий хвилевідний атенюатор і надвисокочастотний генератор шуму.

UA 79532 U



Корисна модель належить до техніки виміру в діапазоні надвисоких частот і може бути використана для визначення спектральних характеристик матеріалів, що використовуються для виготовлення одягу, в низькоінтенсивних електромагнітних полях біологічного і техногенного походження. Текстильні, шкіряні, композиційні і інші матеріали, які використовуються для виготовлення одягу, належать до класу діелектриків і мають відносно високу радіопрозорість. Проте їх властивості істотно залежать від вологості, поверхневої щільності, хімічного складу ниток, фарбників, склеювальних і просочуючих компонентів. Тому радіопрозорість тканин з різним вмістом натуральних і хімічних волокон різна. Це відноситься і до шкіряних матеріалів, оброблених натуральними і синтетичними хімікатами. В результаті зниження радіопрозорості матеріалів погіршується електромагнітний обмін організму людини з навколишніми об'єктами живої і неживої природи, що негативно позначається на стані здоров'я.

Радіопрозорість матеріалів кількісно оцінюється спектральним коефіцієнтом передачі потоку електромагнітного випромінювання (ЕМВ) через матеріал з врахуванням його проникної і відбивної здатності. Оскільки ЕМВ живих організмів є багаточастотним з суцільним спектром, то важливою є оцінка радіопрозорості матеріалів на різних ділянках спектра випромінювання, особливо поблизу резонансних частот поглинання. Складність виміру спектральних характеристик матеріалів в електромагнітних полях (ЕМП) біологічного походження обумовлена низькою інтенсивністю ЕМВ і ЕМП людини, в яких знаходиться матеріал одягу, їх аномальними властивостями на надвисоких частотах (НВЧ). Особливий інтерес представляє діапазон міліметрових і субміліметрових довжин хвиль, на яких здійснюється інформаційно-енергетичний обмін між живими організмами і їх окремими органами. Так спектральна щільність ЕМВ людини знаходиться в межах  $10^{-20} \dots 10^{-21} \text{ Вт} / \text{Гц} \cdot \text{см}^2$ , а поріг чутливості організму до інформаційних

впливів менше  $10^{-23} \text{ Вт} / \text{Гц} \cdot \text{см}^2$ . Тому вимір характеристик матеріалів одягу необхідно

здійснювати в низькоінтенсивних ЕМП широкого спектрального складу з використанням високочутливих радіометричних систем [Скрипник Ю.А. и др. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / Ю.А. Скрипник, А.Ф. Яненко, В.Ф. Манойлов, В.П. Куценко, Ю.Б. Гимпилевич. Под ред. Ю.А. Скрипника. - Житомир: вид-во "Волинь", 2003. - С. 31-37]. Висока чутливість радіометричних систем навіть при вузькій смузі прийому дозволяє вимірювати спектральну щільність слабких сигналів, що дає можливість визначення спектральних характеристик матеріалів в НВЧ діапазоні. Проте їх низька завадозахищеність, особливо в шумових ЕМП, не дозволяє реалізувати високу чутливість радіометричних пристроїв.

Відомий радіометричний пристрій для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях [Головко Д.Б. та ін. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин: Навч. Посібник / Д.Б. Головко, Ю.О. Скрипник, О.П. Яненко. - К.: Либідь, 2003. - С. 72-75], за допомогою якого можна визначати спектральні характеристики матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях. Схема вузькосмугового вимірювача містить приймальну антену, НВЧ комутатор, керований генератором низької частоти, змішувач з перебудовуванням по частоті гетеродином, підсилювач фіксованої проміжної частоти, квадратичний детектор, вибіркового підсилювач низької частоти, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і вихідний вимірювальний прилад.

Виділення вузької ділянки спектра шумового ЕМВ здійснюється за допомогою гетеродинного перетворювача частоти прийнятого сигналу і виділення сигналу різницевої частоти вузькосмуговим підсилювачем проміжної (різницевою) частоти. Проте в смугу пропускання підсилювача проміжної частоти потрапляє не лише сигнал від виділеної ділянки спектра широкосмугового шумового сигналу, а і дзеркальні завади від ділянок спектра, розташованих симетрично частоті гетеродина, що спотворює результати вимірів. Звуженням смуги частот сигналу, що приймається, повторним гетеродинним перетворенням частоти сигналу проміжної частоти не усувається вплив дзеркальних перешкод від первинного гетеродинного перетворення частоти НВЧ сигналу.

Відомий також радіометричний пристрій для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях [Патент України на корисну модель № 50507, МПК: G01N22/00, 2010.], що містить дві антени, два ключі-модулятори, два вентиля, хвилевідний трійник, балансний змішувач, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач, синхронний детектор, інтегратор і індикатор, хвилевідний атенюатор та генератор низької частоти, протифазні виходи якого з'єднані з керуючими входами ключів-модуляторів і синхронного детектора. Крім цього відомий пристрій включає НВЧ гетеродин, що

перебудовується по частоті, підсилювач проміжної частоти з фіксованим налаштуванням на проміжну частоту, металеву пластину, сполучену з регульованим джерелом струму і термометр.

Джерелом низькоінтенсивного електромагнітного поля є нагріта металева пластина, що контактує з досліджуваним матеріалом. Виділення спектральної складової з суцільного спектра радіотеплового випромінювання здійснюють перебудовою частоти НВЧ гетеродина, який живить балансний змішувач. Проте в смугу пропускання підсилювача проміжної частоти з фіксованим налаштуванням потрапляє як основна складова частоти гетеродинного перетворення, так і дзеркальна завада, що спотворює результати спектрального аналізу.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення такого радіометричного пристрою для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях, в якому введенням нових елементів і зв'язків забезпечувалась би можливість визначення коефіцієнта передачі потоку низькоінтенсивного ЕМВ широкого спектра через досліджуваний матеріал з урахуванням його проникних властивостей на кожній частоті спектра, що дозволить більше повно оцінювати електромагнітну складову комфортності одягу або взуття.

Поставлена задача вирішується тим, що в радіометричний пристрій для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях, що містить дві антени, два ключі-модулятори, два вентиля, хвилевідний трійник, балансний змішувач, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач, синхронний детектор, інтегратор і індикатор, хвилевідний атенюатор та генератор низької частоти, протифазні виходи якого з'єднані з керуючими входами ключів-модуляторів і синхронного детектора, згідно з корисною моделлю, введені направлений відгалужувач, смуговий хвилевідний фільтр, додатковий хвилевідний трійник, фільтр нижніх частот, додатковий хвилевідний атенюатор і надвисокочастотний генератор шуму, вихід якого з'єднаний через направлений відгалужувач з входом балансного змішувача, сигнальний вхід якого через смуговий хвилевідний фільтр і перший вентиль підключений до виходу хвилевідного трійника, входи якого з'єднані з керуючими виходами ключів-модуляторів, вхід першого з них з'єднаний з виходом першої антени, вхід другого з'єднаний з виходом хвилевідного атенюатора, вхід якого підключений до одного з виходів додаткового хвилевідного трійника, інший вихід якого через другий вентиль з'єднаний з входом другої антени, вхід додаткового хвилевідного трійника через додатковий хвилевідний атенюатор з'єднаний з відгалужувачем виходом направлено відгалужувача, а вихід балансного змішувача через фільтр нижніх частот з'єднаний з входом вибіркового підсилювача.

Введення в схему радіометричного пристрою для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях направлено відгалужувача, смугового хвилевідного фільтра, додаткового хвилевідного трійника, фільтра нижніх частот, додаткового хвилевідного атенюатора і надвисокочастотного генератора шуму, включених вказаним чином, забезпечує виділення з суцільного спектра прийнятого електромагнітного випромінювання, яке пройшло досліджуваний матеріал, лише однієї спектральної складової без формування дзеркальної завади. Частота спектральної складової, що виділяється, забезпечується смуговим хвилевідним фільтром, який перебудовується в діапазоні аналізованих частот, а фільтр нижніх частот, включений на виході балансного змішувача, усереднює добуток корельованих складових ЕМВ, що надходять на входи балансного змішувача. Введення додаткового хвилевідного атенюатора і додаткового хвилевідного трійника дозволяє досліджувати матеріал у вільному просторі між двома антенами, що імітує підодяговий простір, в якому розташований текстильний або шкіряний матеріал. Направлений відгалужувач забезпечує розділення вихідного надвисокочастотного широкосмугового шуму, який генерується введенням генератором шуму, на потужніший опорний сигнал балансного змішувача і відносно слабкий вимірювальний сигнал, який несе інформацію про мікрохвильову проникність матеріалу на різних частотах низькоінтенсивного спектра випромінювання. Підключення вибіркового підсилювача безпосередньо до виходу фільтра нижніх частот дає можливість отримати інформацію про нерівномірність спектра випромінювання, що пройшло через матеріал, в широкому діапазоні частот, що дозволяє більш повно оцінювати електромагнітну складову комфортності матеріалу одягу або взуття.

На кресленні приведена електрична функціональна схема радіометричного пристрою для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях.

Радіометричний пристрій містить надвисокочастотний генератор шуму 1, вихід якого через направлений відгалужувач 2 з'єднаний з керуючим входом балансного змішувача 3, сигнальний вхід якого через смуговий хвилевідний фільтр 4 і вентиль 5 підключений до виходу хвилевідного трійника 6, входи якого з'єднані з виходами ключів-модуляторів 7 і 8. Вхід першого з них

з'єднаний з виходом першої антени 9, вхід другого з'єднаний з виходом хвилевідного атенюатора 10, вхід якого підключений до одного з виходів додаткового хвилевідного трійника 11, інший вихід якого через другий вентиль 12 з'єднаний з входом другої антени 13. Вхід додаткового хвилевідного трійника 11 з'єднаний через додатковий хвилевідний атенюатор 14 з відгалужуючим виходом направленою відгалужувача 2. Вихід балансного змішувача 3 через фільтр нижніх частот 15 з'єднаний з входом вибіркового підсилювача 16, до виходу якого підключені послідовно з'єднані синхронний детектор 17, інтегратор 18 і індикатор 19. Генератор низької частоти 20 з'єднаний своїми протифазними виходами з керуючими входами ключів-модуляторів 7 і 8 і керуючим входом синхронного детектора 17. Досліджуваний матеріал 21 розміщений у вільному просторі між антенами 9 і 13.

Радіометричний пристрій працює таким чином.

Надвисокочастотний генератор шуму 1 через направлений відгалужувач 2 збуджує антену 13, яка опромінює досліджуваний матеріал 21 широкосмуговим електромагнітним випромінюванням. Рівень випромінювання, аналогічний біологічним джерелам ( $10^{-9} \dots 10^{-10}$  Вт/см<sup>2</sup>), встановлюють хвилевідним атенюатором 14, сигнал з виходу якого розділяється на дві частини додатковим хвилевідним трійником 11. Частина низькоінтенсивного ЕМВ, що пройшло через досліджуваний матеріал 21, приймається антенною 9. Одночасно друга частина низькоінтенсивного ЕМВ проходить через градуйований хвилевідний атенюатор 10 і ослабляється на відоме значення. В результаті обидві частини низькоінтенсивного ЕМВ стають співрозмірними з власними шумами елементів хвилевідного тракту, зокрема з шумами антени 13 і атенюатора 10, а також приймальної антени 9. Тому потужність НВЧ сигналу на виході приймальної антени 9

$$P_1 = q(P_0 + P_{n1}), \quad (1)$$

де  $q$  - мікрохвильова проникність матеріалу;  $q$  - потужність прийнятого сигналу;  $P_0$  - потужність, встановлена на виході атенюатора 14;  $P_{n1}$  - сумарна потужність власних шумів антен 9 і 13.

Мікрохвильова проникність  $q$  враховує ослаблення ЕМВ як за рахунок втрат в самому матеріалі, так і за рахунок віддзеркалення від його поверхні, що має місце в підодяговому просторі з ЕМВ організму людини. Тому коефіцієнт  $q$  є інтегральним показником комфортності матеріалів для одягу.

Потужність НВЧ сигналу на виході хвилевідного атенюатора 10

$$P_2 = \alpha(P_0 + P_{n2}), \quad (2)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт передачі атенюатора 10;  $P_{n2}$  - потужність власного шуму в атенюаторі 10.

Вплив відбитого НВЧ сигналу від матеріалу 21 на вихідний сигнал атенюатора 10 виключається вентилем 12. НВЧ сигнали з потужностями (1) і (2) періодично перериваються ключами-модуляторами 7 і 8 і через трійник 6 і вентиль 5 по чергово впливають на смуговий хвилевідний фільтр 4. Останній виконаний у вигляді прохідного резонатора на основі циліндра з регульованою довжиною і двома отворами зв'язку на торцях. Черговість подачі пакетів НВЧ сигналів на смуговий фільтр 4 забезпечується управлінням ключів-модуляторів 7 і 8 протифазною напругою генератора низької частоти 20. Вузькосмугові шумові сигнали, що пройшли через смуговий фільтр 4, з центральною частотою, яка визначається резонансною частотою фільтра 4, по черзі впливають на сигнальний вхід балансного змішувача 3, керуючий вхід якого безпосередньо збуджується НВЧ генератором шуму 1.

В результаті перемножування НВЧ сигналів в баланському змішувачі 3 і подальшого усереднювання результатів перетворення фільтром нижніх частот 15 формується послідовність відеоімпульсів, що чергуються, з напругою:

$$U_1 = \overline{SKP_1P} = \overline{SKq(P_0 + P_{n1})P}, \quad (3)$$

$$U_2 = \overline{SKP_2P} = \overline{SK\alpha(P_0 + P_{n2})P}, \quad (4)$$

де  $S$  - крутість перетворення балансного змішувача 3;  $K$  - коефіцієнт передачі смугового фільтра 4;  $P$  - потужність НВЧ генератора шуму; "—" - символ усереднювання.

При оцінці добутків (3) і (4) слід врахувати, що шуми НВЧ генератора 1 і шуми елементів хвилевідного тракту ( $P_{n1}$  і  $P_{n2}$ ) між собою некорельовані. Тому їх усереднений добуток дорівнює нулю. Шуми, що пройшли через смуговий фільтр 4, корельовані з тією частиною шумів генератора 1, які надходять на опорний вхід змішувача 3 і теж визначаються смугою пропускання цього фільтра. За потужністю це відповідає частині від загальної потужності ( $KP$ ). З врахуванням цього маємо:

$$U_1 = \overline{SK^2qP_0P}, \quad (5)$$

$$U_2 = \overline{SK^2 \alpha P_0 P}. \quad (6)$$

У послідовності відеоімпульсів (5) і (6) з різними напругами присутня змінна складова напруги з частотою послідовності відеоімпульсів:

$$U_3 = \frac{U_1 - U_2}{2} = \frac{1}{2} SK^2 P_0 P (q - \alpha). \quad (7)$$

Змінна складова (7) виділяється і посилюється вибіркоким підсилювачем 16, налаштованим на частоту генератора низької частоти 20, і випрямляється синхронним детектором 17, який управляється безпосередньо протифазною напругою цього генератора. Випрямлена напруга згладжується інтегратором 18 і фіксується індикатором 19. Зміною ослаблення, що вноситься атенюатором 10, добиваються нульових показів індикатора 19. При нульових показах індикатора 19 мікрохвильова проникність матеріалу однозначно визначається коефіцієнтом передачі градуйованого атенюатора ( $q = \alpha$ ). Якщо представити мікрохвильову проникність в логарифмічних одиницях (дБ), то

$$Q_1 = A_1, \quad (8)$$

де  $Q_1$  і  $A_1$  електромагнітна проникність матеріалу і ослаблення атенюатора в логарифмічних одиницях.

Для підвищення точності виміру електромагнітної проникності до результату (8) вноситься поправка на втрати і віддзеркалення в антенній системі 9 і 13, яка формує зондуєче ЕМВ. Для цього проводиться додатковий вимір за відсутності матеріалу між антенами 9 і 13. Нульові покази індикатора 19 досягаються установкою градуйованого атенюатора 10 в нове положення. Оскільки за відсутності матеріалу загасання ЕМВ в антенній системі зменшилося, то відповідно зменшилося і ослаблення, що вноситься атенюатором 10. Результат додаткового виміру можна представити у вигляді

$$Q_2 = A_2, \quad (9)$$

де  $Q_2$  - електромагнітна проникність повітряного проміжку з врахуванням втрат в антенах 9 і 13;  $A_2$  - компенсуюче ослаблення, що вноситься атенюатором 10.

З врахуванням поправки (9) результат виміру електромагнітної проникності матеріалу має вигляд:

$$Q_{M1} = Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2. \quad (10)$$

Для визначення спектральної характеристики матеріалу перебудовують резонансну частоту смугового фільтра 5 на вищу. При цьому із спектра шумового ЕМВ, яке генерується НВЧ генератором 1, виділяється сусідня ділянка спектра. Досліджуваний матеріал відповідно до своїх фізико-хімічних властивостей вносить нове загасання, яке компенсується новим значенням ослаблення атенюатора 10. Вводячи чергову поправку, отримують:

$$Q_{M2} = A_{12} - A_{22}, \quad (11)$$

де  $A_{12}$  і  $A_{22}$  - нові покази градуйованого атенюатора 10.

Вплив відбитих від входу перебудованого за частотою резонатора смугового фільтра 4 електромагнітних хвиль на результат виміру пригнічується вентилем 5. Вимір коефіцієнта втрат і добротності самого перебудованого резонатора не впливають на результат виміру (8) при вказаній послідовності виконання вимірвальних операцій.

Послідовно проводячи виміри на інших, вищих частотах смугового фільтра 4, визначають значення електромагнітної проникності матеріалу на ряду частот  $f$  його спектральної характеристики:

$$Q_M(f) = A_{1i} - A_{2i}, \quad (12)$$

де індекс "i" означає число перебудов резонатора смугового фільтра 4.

Як активне джерело генератора шуму в міліметровому діапазоні НВЧ (40...65 ГГц) використовувалося нагріте до температури 300...350 К тіло, яке випромінювало електромагнітну енергію з практично рівномірним спектром (нерівномірність характеристики не більше 1 дБ).

Спектральна щільність потужності ЕМВ складала  $3 \cdot 10^{-21} \dots 5 \cdot 10^{-19}$  Вт/Гц $\cdot$ см $^2$  в залежності від температури нагріву випромінюючого тіла. Регулювання резонансної частоти в прохідному резонаторі смугового фільтра здійснювалося виміром довжини  $L$  циліндра резонатора від 7 до 3 мм. При цьому смуга частот, що виділяються, на рівні 10 дБ характеристики резонатора змінювалася від 1 % ( $L = 6,2$  мм) до 2 % ( $L = 3,8$  мм). Істотне розширення смуги частот  $\Delta f$  при  $L > 4$  мм пов'язане з поширенням в резонаторі декількох мод, а так само із збільшенням коефіцієнтів передачі через отвори зв'язку. Для з'єднання елементів СВЧ тракту використані хвилеводи з прямокутним перерізом.

Використання запропонованого радіометричного пристрою для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях дозволяє:

інтегрально оцінювати проникну та відбивну здатність матеріалів різної структури і складу, а також шкіри, хутра і інших матеріалів для одягу повсякденного і спеціального призначення з точки зору оптимізації електромагнітного обміну організму людини з об'єктами живої і неживої природи;

підбирати пакети матеріалів із заданою проникною або відбивною здатністю для комфортного одягу при роботі в природних і техногенних електромагнітних полях різної інтенсивності;

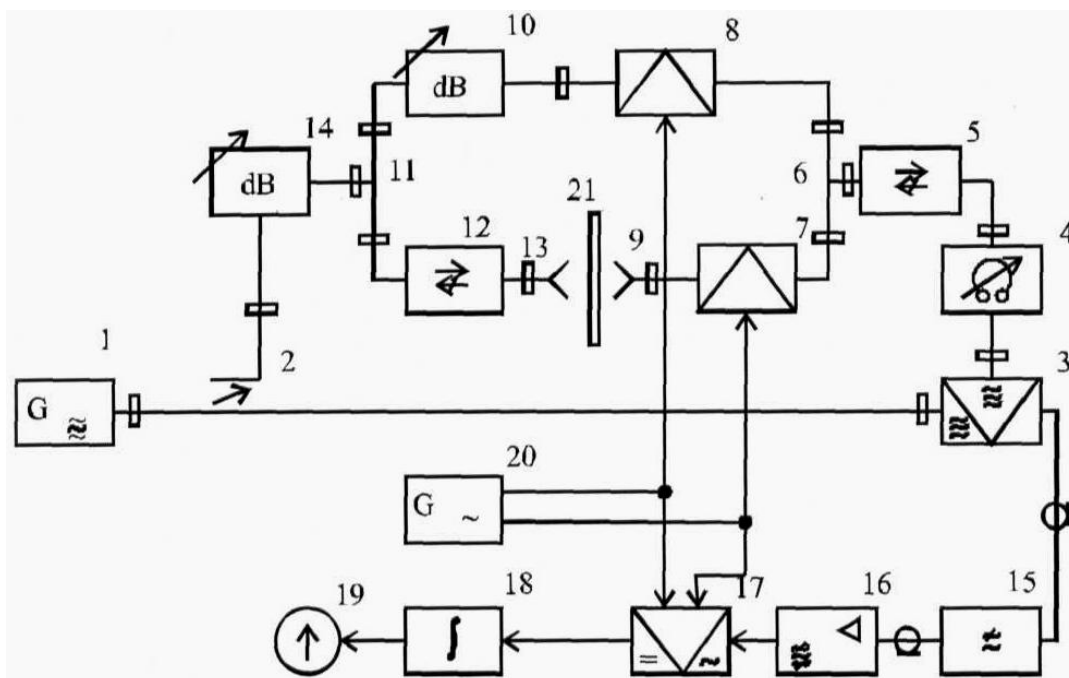
визначати вікна прозорості в матеріалах з різним складом натуральних і хімічних волокон, варіювати їх складом з метою отримання спектральних характеристик необхідної форми;

застосовувати запропоновану вимірювальну схему в системах неруйнівного контролю для виявлення дефектів в матеріалах і виробів з них по інтенсивності власного радіотеплового випромінювання на різних ділянках спектральної характеристики;

виявляти слабкі електромагнітні випромінювання в живих організмах через різні матеріали, які використовуються для захисту їх від зовнішніх впливів і стимулювання просвітлення в них біологічно активних речовин, що позитивно впливають на фізіологічні процеси.

### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Радіометричний пристрій для визначення спектральних характеристик матеріалів в низькоінтенсивних електромагнітних полях, що містить дві антени, два ключі-модулятори, два вентиля, хвилевідний трійник, балансний змішувач, послідовно з'єднані вибірково підсилювач, синхронний детектор, інтегратор і індикатор, хвилевідний атенюатор та генератор низької частоти, протифазні виходи якого з'єднані з керуючими входами ключів-модуляторів і синхронного детектора, який відрізняється тим, що в нього введені направлений відгалужувач, смуговий хвилевідний фільтр, додатковий хвилевідний трійник, фільтр нижніх частот, додатковий хвилевідний атенюатор і надвисокочастотний генератор шуму, вихід якого з'єднаний через направлений відгалужувач з входом балансного змішувача, сигнальний вхід якого через смуговий хвилевідний фільтр і перший вентиль підключений до виходу хвилевідного трійника, входи якого з'єднані з керуючими виходами ключів-модуляторів, вхід першого з них з'єднаний з виходом першої антени, вхід другого з'єднаний з виходом хвилевідного атенюатора, вхід якого підключений до одного з виходів додаткового хвилевідного трійника, інший вихід якого через другий вентиль з'єднаний з входом другої антени, вхід додаткового хвилевідного трійника через додатковий хвилевідний атенюатор з'єднаний з відгалужуючим виходом направлено відгалужувача, а вихід балансного змішувача через фільтр нижніх частот з'єднаний з входом вибірково підсилювача.



---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601