



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57897 (13) U
(51) МПК
G01N 27/22 (2011.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) РЕЗОНАНСНИЙ ВОЛОГОМІР

1

2

(21) u201014329

(22) 30.11.2010

(24) 10.03.2011

(46) 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.

(72) ВАСЮРА АНАТОЛІЙ СТЕПАНОВИЧ, КУЧЕРУК ВОЛОДИМИР ЮРІЙОВИЧ, ДУДАТЬСВ ІГОР АНДРІЙОВИЧ

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Резонансний вологомір, що містить задавальний і додатковий генератори, два балансні модулятори, підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення, коливальний контур, що складається з паралельно з'єднаних індуктивності, зразкового конденсатора змінної ємності і ємнісного перетворювача, що під'єднаний через резистор до першого виходу задавального генератора, синхронний детектор, причому до першого входу першого балансного модулятора підключений додатковий генератор, а до другого його входу - задавальний генератор, вихід першого балансного модулятора підключений до першого входу другого балансного модулятора, його вихід підключений до підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення, вихід якого підключений до першого входу синхронного детектора, другий вхід якого з'єднаний з виходом додаткового генератора, третій вихід задавального генератора і другий вихід коливального контуру сполучені із землею, перший вихід коливального контуру підключений до другого входу другого балансного модулятора, який **відрізняється** тим, що введені третій і четвертий балансні модулятори, другий підсилювач з автоматичним

регулюванням підсилення, другий синхронний детектор, подільник напруги, блок індикації, блок корекції активних втрат, коливальний контур містить паралельно з'єднаний терморезистор з обмоткою підігріву, причому перший вхід третього балансного модулятора підключений до виходу додаткового генератора, з яким також з'єднаний другий вхід другого синхронного детектора, другий вхід третього балансного модулятора підключений до другого виходу задавального генератора, перший вхід четвертого балансного модулятора з'єднаний з виходом третього балансного модулятора, а другий вхід четвертого балансного модулятора з'єднаний з першим виходом коливального контуру, вихід четвертого балансного модулятора з'єднаний через підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення з першим входом другого синхронного детектора, другий вхід якого з'єднаний з виходом додаткового генератора, виходи першого і другого синхронних детекторів з'єднані відповідно з першим і другим входами подільника напруги, вихід якого з'єднаний з входом блока індикації, другий вихід другого підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення сполучений з другим входом першого підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення, перший і другий входи блока корекції активних втрат з'єднані відповідно з першим і другим входами коливального контуру, а його виходи - з ниткою накаливання терморезистора з обмоткою підігріву, який паралельно з'єднаний з ємнісним перетворювачем.

Корисна модель відноситься до області вимірювання вологості матеріалів, а саме, до пристроїв автоматичного вимірювання вологості по реактивній складовій ємнісного перетворювача, тангенс кута діелектричних втрат якого може змінюватися в широкому діапазоні.

Відомий пристрій для вимірювання вологості, що містить генератор високої частоти, коливальний контур, що складається з індуктивності і паралельно ввімкнених змінного конденсатора і датчика, вольтметр. Вологість визначається шляхом

вимірювання напруги на конденсаторі за допомогою вольтметра (див. Берлинер М.А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности. - М.: Энергия, 1965, с. 127-129).

Недоліком відомого пристрою є низька точність вимірювань внаслідок залежності напруги на контурі від величини активного опору датчика. При цьому з підвищенням вологості не тільки знижується максимальне значення напруги, але і резонансна крива стає ширшою, а її максимум - поло-

(13) U

(11) 57897

(19) UA

гішим, у зв'язку з чим знижується чутливість налаштування в резонанс, а відповідно, і точність вимірювання.

Найбільш близьким по технічній суті є резонансний вологомір, що містить задаючий і додатковий генератори, два балансні модулятори, підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення, коливальний контур, що складається з паралельно з'єднаних індуктивності, зразкового конденсатора змінної ємності і ємнісного перетворювача, що під'єднаний через резистор до першого виходу задаючого генератора, синхронний детектор, підсилювач, реверсивний двигун, причому до першого входу першого балансного модулятора підключений додатковий генератор, а до другого його входу - задаючий генератор, вихід першого балансного модулятора підключений до першого входу другого балансного модулятора, його вихід підключений до підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення, вихід якого підключений до першого входу синхронного детектора, другий вхід якого з'єднаний з виходом додаткового генератора, третій вихід задаючого генератора і другий вихід коливального контуру з'єднані із землею, перший вихід коливального контуру підключений до другого входу другого балансного модулятора, вихід синхронного детектора з'єднаний через підсилювач з входом реверсивного двигуна, вихідний вал якого зв'язаний із зразковим конденсатором змінної ємності (див. АС СССР №443299, МКИ G 01 N 27/22. Резонансный влагомер / В.Т. Маликов, С.И. Пятин, М.И. Бандак, 1974г.).

Недоліком резонансного вологоміру є складна структура пристрою та низька точність пов'язана з впливом активного опору датчика ємності.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такого резонансного вологоміру, в якому за рахунок введення нових елементів та зв'язків між ними підвищується точність вимірювання вологості матеріалів, зменшується складність і трудомісткість процесу роботи.

Поставлена задача досягається тим, що у резонансний вологомір, який містить задаючий і додатковий генератори, два балансні модулятори, підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення, коливальний контур, що складається з паралельно з'єднаних індуктивності, зразкового конденсатора змінної ємності, ємнісного перетворювача і підключений через резистор до першого виходу задаючого генератора, синхронний детектор, причому до першого входу першого балансного модулятора підключений додатковий генератор, а до другого його входу - задаючий генератор, вихід першого балансного модулятора підключений до першого входу другого балансного модулятора, його вихід підключений до підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення, вихід якого підключений до першого входу синхронного детектора, другий вхід якого сполучений з виходом додаткового генератора, третій вихід задаючого генератора і другий вихід коливального контуру сполучені із землею, а перший вихід коливального контура підключений до другого входу другого балансного модулятора, введені третій і четвертий балансні модулятори, другий підсилю-

вач з автоматичним регулюванням підсилення, другий синхронний детектор, подільник напруги, блок індикації, блок корекції активних втрат, в коливальний контур введений паралельно з'єднаний терморезистор з обмоткою підігріву, причому перший вхід третього балансного модулятора підключений до виходу додаткового генератора, з яким також з'єднаний другий вхід другого синхронного детектора, другий вхід третього балансного модулятора підключений до другого виходу задаючого генератора, перший вхід четвертого балансного модулятора з'єднаний з виходом третього балансного модулятора, а другий вхід четвертого балансного модулятора з'єднаний з першим виходом коливального контуру, вихід четвертого балансного модулятора з'єднаний через підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення з першим входом другого синхронного детектора, другий вхід якого з'єднаний з виходом додаткового генератора, виходи першого і другого синхронних детекторів з'єднані відповідно з першим і другим входами подільника напруги, вихід якого з'єднаний з входом блоку індикації, другий вихід другого підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення сполучений з другим входом першого підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення, перший і другий входи блоку корекції активних втрат з'єднані відповідно з першим і другим входами коливального контуру, а його виходи - з ниткою накалювання терморезистора, який паралельно з'єднаний з ємнісним перетворювачем.

На кресленні зображена схема запропонованого резонансного вологоміру, який містить задаючий генератор 1 (генератор напруги високої частоти), додатковий генератор 2 (генератор напруги низької частоти), перший 3, другий 4, третій 5, четвертий 6 балансні модулятори, перший 7, другий 8 підсилювачі з автоматичним регулюванням підсилення, перший 9, другий 10 синхронні детектори, подільник напруги 11, блок індикації 12, резистор 13, блок корекції активних втрат 14, коливальний контур 15, елементами якого є індуктивність 16, зразковий конденсатор змінної ємності 17, ємнісний перетворювач 18 і терморезистор з обмоткою підігріву 19.

Ємнісний перетворювач 18 в конструктивному відношенні складається з електродного пристрою, за допомогою якого створюється електричне поле в матеріалі, що досліджується. Він виконує функцію перетворення змін вологості матеріалу в зміну активного або реактивного опору перетворювача, діелектричних втрат. Складова ємності C_x ємнісного перетворювача 18 є однозначною функцією вологості матеріалу, а опір втрат R_x зумовлено, головним чином, хімічним складом матеріалу, що досліджується. Отже, при вимірюваннях вологості зміну ємнісної складової можна розглядати як корисний сигнал, а зміну активного опору - як шуми.

Резонансний вологомір працює таким чином. Напруга

$$U_A = U_m \cos(\omega t) \cdot (1)$$

з виходу А задаючого генератора 1 подається на коливальний контур 15, елементами якого є індуктивність 16, зразковий конденсатор змінної

ємності 17, ємнісний перетворювач 18 і терморезистор з обмоткою підігріву 19 через резистор 13 з активним опором r і на другий вхід першого балансного модулятора 3. Напряга на контурі 15 визначається виразом:

$$U_{15} = U_{15m} \cos(\omega t - \varphi). \quad (2)$$

З іншого боку,

$$\dot{U}_{15} = \frac{\dot{U}_A}{r + \dot{z}}, \quad (3)$$

де \dot{U}_A - комплексна вихідна напряга задаючого генератора 1; \dot{z} - комплексний опір коливального контура 15, що дорівнює:

$$\dot{z} = \frac{j\omega L \frac{R_{xt}}{1 + j\omega(C_o + C_x)R_{xt}}}{j\omega L \frac{R_{xt}}{1 + j\omega(C_o + C_x)R_{xt}}}, \quad (4)$$

$$= \frac{j\omega L R_{xt}}{R_{xt}(1 - \omega^2 LC_o) - \omega^2 LC_x R_{xt} + j\omega L}$$

де R_{xt} - активний опір паралельно з'єданого резистора R_x ємнісного перетворювача 18 і R_t терморезистора з обмоткою підігріву 19.

При $\omega^2 LC_o = 1$ після нескладних перетворень вираз (4) набуде вигляду:

$$U_4 = k_3 k_4 U_m U_{2m} U_{15m} \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) \cos(\Omega t) = 0.5 k_3 k_4 U_m U_{2m} U_{15m} \cos \varphi \cos(\Omega t) + 0.5 k_3 k_4 U_m U_{2m} U_{15m} \cos(2\omega t - \varphi) \cos(\Omega t); \quad (10)$$

$$U_6 = k_5 k_6 U_m U_{2m} U_{15m} \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) \cos(\Omega t) = 0.5 k_5 k_6 U_m U_{2m} U_{15m} \cos \varphi \cos(\Omega t) + 0.5 k_5 k_6 U_m U_{2m} U_{15m} \cos(2\omega t - \varphi) \cos(\Omega t); \quad (11)$$

де k_5, k_6 - коефіцієнти передач відповідно третього 5 і четвертого 6 балансних модуляторів. Якщо $k_3 = k_4 = k_5 = k_6 = k$, то на входи першого 7 і другого 8 підсилювачів з автоматичним регулюванням підсилення поступають відповідно наступні сигнали:

$$U_7 = U'_m \cos \varphi \cos(\Omega t) + U'_m \cos(2\omega t - \varphi) \cos(\Omega t), \quad (12)$$

$$U_8 = U'_m \cos \varphi \cos(\Omega t) + U'_m \cos(2\omega t - \varphi) \cos(\Omega t), \quad (13)$$

$$\text{де } U'_m = k_3 k_4 U_m U_{2m} U_{15m} = k_5 k_6 U_m U_{2m} U_{15m}.$$

Напряги U_7 і U_8 містять дві складові: перша складова з частотою Ω і друга високочастотна складова з частотами $(2\omega \pm \Omega)$. Слід зазначити, що амплітуда другої складової виразу (13), тобто U'_m , при вимірюванні невеликих фазових зсувів завжди значно більша амплітуди першої складової, тобто $U'_m \sin \varphi$. Оскільки другий підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення 8 працює по максимальній амплітуді вхідного сигналу U_8 , то на його виході підтримується з достатньою ступінню точності постійні значення U'_m у виразі (13). Напряга регулювання з другого підсилювача з автоматичним регулюванням підсилення 8 подається одночасно і на перший підсилювач з автоматичним регулюванням підсилення 7. За рахунок цього підтримується постійним і значення U'_m у

$$\dot{z} = \frac{R_{xt}}{\sqrt{1 + (\omega C_x R_{xt})^2}} \exp(j\varphi), \quad (5)$$

де φ - кут фазового зсуву, що дорівнює:

$$\varphi = -\alpha \text{rctg}(\omega C_x R_{xt}). \quad (6)$$

Напрягу з виходу Б задаючого генератора 1 зсунуто відносно виходу А на 90° , тобто:

$$U_B = U_m \sin(\omega t), \quad (7)$$

і подається на другий вхід третього балансного модулятора 5. Напряга

$$U_2 = U_{2m} \cos(\Omega t). \quad (8)$$

З виходу додаткового генератора 2 подається на перші входи першого 3 і третього 5 балансних модуляторів і на другі входи першого 9 і другого 10 синхронних детекторів. На виході першого 3 і третього 5 балансних модуляторів напруги будуть відповідно дорівнювати:

$$U_3 = k_3 U_m U_{2m} \cos(\omega t) \cos(\Omega t),$$

$$U_5 = k_5 U_m U_{2m} \cos(\omega t) \cos(\Omega t), \quad (9)$$

де k_3, k_5 - коефіцієнти передач першого 3 і третього 5 балансних модуляторів.

Тоді напруги на виходах другого 4 і четвертого 6 балансних модуляторів будуть відповідно дорівнювати:

виразі (12).

Напряга з виходів першого 7 і другого 8 підсилювачів з автоматичним регулюванням підсилення подаються відповідно на перші входи першого 9 та другого 10 синхронних детекторів, на другі входи яких подається опорна напряга від додаткового генератора 2, тоді на виходах першого 9 та другого 10 синхронних детекторів напруги відповідно дорівнюють:

$$U_9 = k_{CD1} U'_m U_{2m} \cos \varphi, \quad (14)$$

$$U_{10} = k_{CD2} U'_m U_{2m} \sin \varphi, \quad (15)$$

де k_{CD1} і k_{CD2} - коефіцієнти передач першого 9 та другого 10 синхронних детекторів. При $k_{CD1} = k_{CD2} = k_{CD}$ на виході подільника напруги 11 напруга дорівнює:

$$|\dot{U}_{11}| = \frac{U_9}{U_{10}} = \text{tg} \varphi, \quad (16)$$

З врахуванням виразу (6):

$$|\dot{U}_{11}| = \omega C_x R_{xt}, \quad (17)$$

На виході подільника напруги 11, який з'єднаний з блок індикації 12, напряга буде прямопропорційна частоті задаючого генератора 1ω , величини ємності ємнісного перетворювача 18 і еквівалентному активному опору паралельного з'єднання R_x і R_t .

Враховуючи, що $r \gg |z|$, формулу (3) можна

записати:

$$\dot{U}_{15} = \frac{\dot{U}_1}{r} z = i \frac{R_{xt}}{\sqrt{1 + (\omega C_x R_{xt})^2}} \exp(j\varphi), \quad (18)$$

де i - струм, що протікає в коливальному контурі 15.

Тангенс кута діелектричних втрат ємнісного перетворювача 18 C_x , R_x визначається виразом:

$$\operatorname{tg}(\delta) = \frac{1}{\omega C_x R_x}, \quad (19)$$

З врахуванням шунтуючої дії терморезистора R_t еквівалентний тангенс кута діелектричних втрат ємності ємнісного перетворювача 18 буде дорівнювати:

$$\operatorname{tg}(\delta_{\text{екв}}) = \frac{1}{\omega C_x R_x}, \quad (20)$$

де

$$R_{xt} = \frac{R_x \cdot R_t}{R_x + R_t}, \quad (21)$$

При виконанні умови $\operatorname{tg}(\delta_{\text{екв}}) \gg 1$, тобто $\omega C_x R_{xt} \ll 1$ комплексна напруга

\dot{U}_{15} приймає вигляд

$$\dot{U}_{15} = i R_{xt} \exp(j\varphi). \quad (22)$$

Напруга \dot{U}_{15} поступає на блок корекції активних втрат 14, в якому амплітуда напруги $|\dot{U}_{15}| = |i R_{xt}|$, що виділяється, подається на нитку накаливання терморезистора з обмоткою підігріву 19. Терморезистор з обмоткою підігріву 19, нагріваючись, встановлює свій активний опір R_t таким, що значення R_{xt} буде підтримуватися постійним.

