



УКРАЇНА

(19) UA (11) 77749 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01N 27/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) КОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ

1

2

(21) 20040806766

(22) 12.08.2004

(24) 15.01.2007

(46) 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Курко Володимир Романович

(73) Київський національний університет технологій та дизайну

(56) UA 46466, 15.05.2002

UA 62760, 15.12.2003

SU 419777, 15.03.74

SU 122629, 22.01.1959

RU 2046332, 20.10.1995

DE 4319603, 16.12.1993

EP 0297604, 04.01.1989

JP 54146694, 16.11.1979

(57) Кондуктометричний вимірювач вологості, що містить кондуктометричний датчик з двома голчастими електродами, виходи кожного з яких через розподільні конденсатори і роз'єднувачі з'єднані з входами диференціального підсилювача, виконаного на двох операційних підсилювачах, до виходів яких підключені два підсилювачі напруги високої частоти, вихід одного з яких з'єднаний з одним входом помножувального блока, прямий і інверсний виходи другого з'єднані через автоматичний перемикач з іншим входом помножувального блока, та вибіркового підсилювача низької частоти, два

фільтри нижніх частот і вимірювальний прилад, який **відрізняється** тим, що додатково містить генератор низької частоти, два фазочутливих випрямлячі, другий вибіркового підсилювача низької частоти, блок ділення, другий вимірювальний прилад, третій операційний підсилювач, резистор зворотного зв'язку і інтегратор, вхід якого з'єднаний з виходом помножувального блока, а вихід з'єднаний з роз'єднувачем одного з електродів, роз'єднувач другого електрода додатково з'єднаний з інверсним входом третього операційного підсилювача, вихід якого з'єднаний через резистор зворотного зв'язку зі своїм інверсним входом і входом першого вибіркового підсилювача низької частоти, вихід якого через перший фазочутливий випрямляч з'єднаний із входом першого фільтра низьких частот, до виходу якого підключений вимірювальний прилад і один із входів блока ділення, другий вхід якого з'єднаний з виходом другого фільтра низьких частот, вхід якого через другий фазочутливий випрямляч з'єднаний з виходом другого вибіркового підсилювача низької частоти, вхід якого підключений до виходу інтегратора, керуючі входи фазочутливих випрямлячів і автоматичного перемикача з'єднані з виходом генератора низької частоти, а до виходу блока ділення підключений другий вимірювальний прилад.

Винахід відноситься до області аналізу складу і властивостей матеріалів за значенням електричного опору і може бути використаний для контролю вологості переважно в'язко-пластичних матеріалів, виготовлених на безводній основі в харчовій, фармацевтичній і парфумерній промисловості.

Відомий кондуктометричний вимірювач вологості [патент України № 46466А, МПК G01N27/02, Бюл. №5, 2002], що містить кондуктометричний датчик вологості, два роз'єднувачі та вимірювальну схему, що включає генератор напруги підвищеної частоти, керований подільник напруги, вхід якого з'єднаний з виходом генератора підвищеної частоти, послідовно з'єднані

вибіркового підсилювача, випрямляч і фільтр нижніх частот, диференціальний підсилювач з джерелом опорної напруги, два автоматичних перемикачі, входи першого з яких з'єднані з високопотенціальним і низькопотенціальним виходами керованого подільника напруги, вихід першого автоматичного перемикача з'єднаний через додатковий резистор із входом вибіркового підсилювача, вхід другого автоматичного перемикача з'єднаний з виходом фільтра нижніх частот, один з виходів другого автоматичного перемикача з'єднаний із входом диференціального підсилювача, до іншого виходу автоматичного перемикача підключений вимірювальний прилад.

(13) C2

(11) 77749

(19) UA

Періодична зміна структури вимірювальної схеми за допомогою автоматичних перемикачів дозволяє виключати шунтуючий вплив вхідного опору вибіркового підсилювача на опір кондуктометричного датчика, а отже, і на точність виміру вологості. Живлення кондуктометричного датчика напругою підвищеної частоти знижує, але не виключає цілком поляризаційні процеси на електродах кондуктометричного датчика й електролітичне розкладання контрольованого матеріалу. Для в'язко-пластичних матеріалів лікувального і косметичного призначення електрохімічні процеси при контролі вологості взагалі не припустимі.

Відомий також кондуктометричний вимірювач вологості [патент України № 62760А, МПК G01N27/02, Бюл. № 12, 2003], що містить кондуктометричний датчик з двома голчастими електродами, виходи кожного з яких через розподільні конденсатори і роз'єднувачі з'єднані з входами диференціального підсилювача на двох операційних підсилювачах, до виходів яких підключені два підсилювачі напруги підвищеної частоти, вихід одного з яких з'єднаний з одним входом розмножувального блоку, прямий і інверсний виходи другого з'єднані через автоматичний перемикач з іншим входом розмножувального блоку, вибіркового підсилювача низької частоти, два фільтри нижніх частот і вимірювальний прилад.

Крім того, відомий пристрій містить генератор напруги підвищеної частоти, подільник частоти і другий автоматичний перемикач, керуючий вхід якого з'єднаний з генератором напруги підвищеної частоти через подільник частоти.

Оскільки у відомому пристрої на електроди кондуктометричного датчика не впливає зовнішня електрична напруга, то в досліджуваному вологому матеріалі не виникають електрохімічні процеси, що змінюють його склад і властивості. Однак напруга теплового шуму досліджуваного матеріалу, за яким визначають вологість матеріалу, однаковою мірою залежить як від опору вологості середовища, так і від його температури. Наявність другого автоматичного перемикача, який з'єднаний з прямим і інверсним виходами вибіркового підсилювача низької частоти та подільника частоти, не дозволяє компенсувати вплив неминучих змін температури досліджуваного середовища на розмір його вологості.

В основу винаходу покладена задача створити такий кондуктометричний вимірювач вологості, в якому шляхом введення нових елементів і їх зв'язків було б виключено вплив мінливості температури матеріалу на вимірювану вологість, що забезпечило би підвищення точності вимірювання вологості матеріалу.

Поставлена задача вирішується тим, що в кондуктометричному вимірювачі вологості, що містить кондуктометричний датчик з двома голчастими електродами, виходи кожного з яких через розподільні конденсатори і роз'єднувачі з'єднані з входами диференціального підсилювача на двох операційних підсилювачах, до виходів яких підключені два підсилювачі напруги підвищеної частоти, вихід одного з яких з'єднаний з одним входом розмножувального блоку, прямий і інверсний виходи другого підсилювача з'єднані

через автоматичний перемикач з іншим входом розмножувального блоку, вибіркового підсилювача низької частоти, два фільтри нижніх частот і вимірювальний прилад, згідно з винаходом, у нього введені генератор низької частоти, два фазочутливі випрямлячі, другий вибіркового підсилювача низької частоти, блок ділення, другий вимірювальний прилад, третій операційний підсилювач, резистор зворотнього зв'язку і інтегратор, вхід якого з'єднаний з виходом розмножувального блоку, а вихід з'єднаний з роз'єднувачем одного з електродів, роз'єднувач другого електрода додатково з'єднаний з інверсним входом третього операційного підсилювача, вихід якого з'єднаний через резистор зворотнього зв'язку зі своїм інверсним входом і входом першого вибіркового підсилювача низької частоти, вихід якого через перший фазочутливий випрямляч з'єднаний із входом першого фільтра нижніх частот, до виходу якого підключений вимірювальний прилад і один із входів блоку ділення, другий вхід якого з'єднаний з виходом другого фільтра нижніх частот, вхід якого через другий фазочутливий випрямляч з'єднаний з виходом другого вибіркового підсилювача низької частоти, вхід якого підключений до виходу інтегратора, керуючі входи фазочутливих випрямлячів і автоматичного перемикача з'єднані з виходом генератора низької частоти, а до виходу блоку ділення підключений другий вимірювальний прилад.

Введення в схему кондуктометричного вимірювача вологості генератора низької частоти, двох фазочутливих випрямлячів, другого вибіркового підсилювача низької частоти, блоку ділення, другого вимірювального приладу, третього операційного підсилювача з резистором зворотнього зв'язку та інтегратора, включених зазначеним чином, дозволяє одержати на виході третього операційного підсилювача, охолопеного негативним зворотнім зв'язком через опір кондуктометричного датчика і постійний резистор зворотнього зв'язку операційного підсилювача, напругу низької частоти, пропорційну тільки температурі досліджуваного матеріалу. За допомогою блоку ділення, на один вхід якого надходить напруга, пропорційна добутку опору досліджуваного матеріалу на його температуру, на другий вхід надходить напруга, пропорційна тільки температурі, формується напруга, зворотно пропорційна опорів досліджуваного матеріалу, а отже, пропорційна вологості матеріалу, незалежно від його температури, що підвищує точність вимірювання вологості матеріалу.

На кресленні представлена функціональна схема кондуктометричного вимірювача вологості.

Кондуктометричний датчик 1 вимірювача вологості складається з голчастих електродів 2 і 3, на які нанесені оксидні покриття 4 і 5. Голчасті електроди через розподільні конденсатори 6 і 7 і роз'єднувачі 8 і 9 з'єднані з входами диференціального підсилювача 10, виконаного на двох операційних підсилювачах 11 і 12. Виходи операційних підсилювачів з'єднані з входами підсилювачів напруги 13 і 14 підвищеної частоти. Прямий і інверсний виходи підсилювача 14 напру-

ги підвищеної частоти з'єднані з входами автоматичного перемикача 15, вихід якого з'єднаний з одним із входів розмножувального блоку 16, другий вхід якого з'єднаний безпосередньо з виходом підсилювача 13 напруги підвищеної частоти. Вихід розмножувального блоку 16 з'єднаний з входом інтегратора 17, вихід якого з'єднаний з роз'єднувачем 8 голчастого електрода 2. Роз'єднувач 9 голчастого електрода 3 додатково з'єднаний з інверсним входом третього операційного підсилювача 18, вихід якого через резистор зворотнього зв'язку 19 з'єднаний з його інверсним входом. До виходу третього операційного підсилювача 18 підключено послідовно з'єднані вибіркового підсилювач 20 низької частоти, фазочутливий випрямляч 21 і фільтр 22 нижніх частот. До виходу фільтра 22 нижніх частот підключений вимірювальний прилад 23 і вхід блоку ділення 24, до виходу якого підключений другий вимірювальний прилад 25. Другий вхід блоку ділення 24 з'єднаний з виходом другого фільтра 26 нижніх частот, вхід якого через другі фазочутливий випрямляч 27 і вибіркового підсилювач 28 низької частоти з'єднаний з виходом інтегратора 17. Керуючі входи автоматичного перемикача 15 і фазочутливих випрямлячів 21 і 27 підключені до виходу генератора 29 низької частоти.

Позицією 30 позначений досліджуваний в'язко-пластичний матеріал.

Кондуктометричний вимірювач вологості працює в такий спосіб. Голчасті кінці електродів 2 і 3 занурені у в'язко-пластичний матеріал 30, у якому є присутнім тепловий шум через неминучі флуктуації вільних електронів і іонів. У провідному середовищі електрична напруга шумів на кінцях електродів 2 і 3 датчика відповідно до рівняння Найквіста має вигляд:

$$\bar{U}_\text{ш} = \sqrt{4K\Delta fTR_1} \quad (1)$$

де $\bar{U}_\text{ш}$ - середньоквадратичне значення флюктууючої (шумової) напруги;

K - постійна Больцмана;

Δf - смуга частот, у якій виділяється тепловий шум;

T - термодинамічна температура;

R_1 - електричний опір міжелектродного простору в глибині досліджуваного матеріалу.

Шумова напруга з виходів електродів 2, 3 через розподільні конденсатори 6, 7 і роз'єднувачі 8, 9 надходить на симетричні входи диференціального підсилювача 10, виконаного на двох операційних підсилювачах 11 і 12. На виходах операційних підсилювачів 11 і 12 формуються дві лінійні шумові напруги з протилежною полярністю:

$$\dot{U}_1 = k_1 \dot{U}_\text{ш} \quad (2)$$

$$\dot{U}_2 = k_2 \dot{U}_\text{ш} \quad (3)$$

де $\dot{U}_\text{ш}$ - вхідна симетрична шумова напруга (1) у комплексному вигляді;

\dot{U}_1 і \dot{U}_2 - вихідні шумові напруги в комплексному вигляді;

$k_1 = k_2$ - коефіцієнти підсилення операційних підсилювачів.

Напруги \dot{U}_1 і \dot{U}_2 підсилюються підсилювачами напруги 13 і 14 підвищеної частоти, смуга пропускання Δf яких забезпечує придушення низькочастотних шумів нетеплового характеру, а також обмеження високочастотних ємнісних перешкод. З урахуванням власних шумів підсилювачів 13 і 14 напруги підвищеної частоти у смузі їхнього пропускання посилені напруги будуть мати вигляд:

$$\dot{U}_3 = k_3(\dot{U}_\text{ш3} + k_1 \dot{U}_\text{ш}) \quad (4)$$

$$\dot{U}_4 = k_4(\dot{U}_\text{ш4} + k_2 \dot{U}_\text{ш}) \quad (5)$$

де k_3 і k_4 коефіцієнти підсилення підсилювачів 13 і 14 у смузі пропускання Δf ;

$\dot{U}_\text{ш3}$ і $\dot{U}_\text{ш4}$ - напруга власних шумів підсилювачів 13 і 14.

На інверсному виході підсилювача 14 напруги підвищеної частоти формується шумова напруга протилежного знака

$$\dot{U}_4'' = k_4(\dot{U}_\text{ш4} + k_2 \dot{U}_\text{ш}) \quad (6)$$

При періодичних переключеннях автоматичного перемикача 15 з низькою частотою на один вхід розмножувального блоку 16 по черзі впливають

напруги \dot{U}_4' і \dot{U}_4'' . На другий вхід розмножувально-

го блоку 16 безупинно надходить напруга \dot{U}_3 . У результаті скалярного перемноження вхідних комплексних напруг на виході розмножувального блоку 16 по черзі формуються пакети перемножених напруг:

$$\dot{U}_5' = S_1 \dot{U}_3 \dot{U}_4' = S_1[k_3 k_4 \dot{U}_\text{ш3} + k_1 \dot{U}_\text{ш}](\dot{U}_\text{ш4} - k_2 \dot{U}_\text{ш}) \quad (7)$$

$$\dot{U}_5'' = S_1 \dot{U}_3 \dot{U}_4'' = S_1[k_3 k_4 \dot{U}_\text{ш3} + k_1 \dot{U}_\text{ш}](k_2 \dot{U}_\text{ш} - \dot{U}_\text{ш4}) \quad (8)$$

де S_1 - масштабний коефіцієнт розмножувального блоку 16.

Добутки напруг (7) і (8) по черзі усереднюються в інтеграторі 17, що приводить до утворення постійних складових напруг. Для визначення

постійних складових напруг \dot{U}_5' і \dot{U}_5'' , варто врахувати, що власні шуми підсилювачів 11, 12 і 13, 14 між собою не корельовані. Так само і шумова напруга кондуктометричного датчика 1 не корельована із шумами цих підсилювачів. У той же час шумові напруги (2) і (3) на виходах диференціального підсилювача 10 сильно корельовані між собою, тому що формуються з тієї самої шумової напруги кондуктометричного датчика 1. Оскільки добуток усереднених некорельованих напруг на виході інтегратора 17 дорівнює нулеві, то постійна напруга інтегратора буде змінюватися

при одному положенні автоматичного перемикача 15 від значення

$$\dot{U}_6' = k_5 \bar{U}_5' = -k_5 S_1 k_1 k_2 k_3 k_4 \bar{U}_\Sigma^2 \quad (9)$$

до значення при іншому положенні автоматичного перемикача

$$\dot{U}_6'' = k_5 \bar{U}_5'' = +k_5 S_1 k_1 k_2 k_3 k_4 \bar{U}_\Sigma^2 \quad (10)$$

де k_5 - коефіцієнт передачі інтегратора 17.

Переключення автоматичного перемикача 15 відбувається з низькою частотою генератора 29 низької частоти, напруга якого керує роботою автоматичного перемикача 15. Тому тимчасову послідовність різнополярних напруг (9) і (10) можна представити як одну безперервну напругу низької частоти прямокутної форми:

$$U_7(t) = k_5 S_1 k_1 k_2 k_3 k_4 \bar{U}_\Sigma^2 \text{sign} \sin 2\pi F t \quad (11)$$

де F - частота генератора 29;

$\text{sign} \sin 2\pi F t$ - огиначаюча знаку прямокутної напруги.

Напруга низької частоти (11) з виходу інтегратора 17 надходить на кондуктометричний датчик 1. Його внутрішній опір між електродами 2 і 3 з опором резистора 19 зворотнього зв'язку утворюють подільник напруги в ланцюзі негативного зворотнього третього зв'язку операційного підсилювача 18. Тому низькочастотна напруга $U_7(t)$ підсилюється третім операційним підсилювачем 18 у число разів, що визначається відношенням опорів резистора 19 зворотнього зв'язку до міжелектродного опору R_1 , кондуктометричного датчика 1. Вихідну напругу третього операційного підсилювача 18 можна представити у вигляді

$$U_8(t) = \frac{R_2}{R_1} U_7(t) \quad (12)$$

де R_2 - опір постійного резистора 19 зворотнього зв'язку.

Змінна напруга (12) підсилюється вибірковою підсилювачем 20 низької частоти, налаштованим на частоту генератора 29 низької частоти. Посилена напруга випрямляється фазочутливим випрямлячем 21, що керується напругою генератора 29 і згладжується фільтром 22 нижніх частот. Постійна напруга на виході фільтра нижніх частот з урахуванням виразів (12) і (11) буде мати вигляд

$$U_9 = k_7 k_6 k_5 S_1 k_1 k_2 k_3 k_4 \frac{R_2}{R_1} \bar{U}_\Sigma^2 \quad (13)$$

де k_5 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 20;

k_6 - коефіцієнт випрямлення фазочутливого випрямляча 21;

k_7 - коефіцієнт передачі фільтра 22 нижніх частот.

Якщо підставити у вираз (13) значення \bar{U}_Σ^2 з (1), то одержимо напругу

$$U_9 = 4K\Delta f k_7 k_6 k_5 S_1 k_1 k_2 k_3 k_4 R_2 T \quad (14)$$

З виразу (14) видно, що постійна напруга U_9 на виході фільтра 22 нижніх частот пропорційна температурі T досліджуваного матеріалу в кондуктометричному датчику 1 і не залежить від його електричного

міжелектродного опору R_1 .

Напруга U_9 вимірюється приладом 23, шкала якого градується в одиницях температури.

Постійна напруга U_9 також впливає на один із входів блоку ділення 24. На інший вход цього блоку

впливає змінна напруга $U_7(t)$ з виходу інтегратора 17 після посилення і випрямлення. Так, вона спочатку підсилюється другим вибірковою підсилювачем 28 низької частоти. Посилена напруга випрямляється другим фазочутливим випрямлячем 27, що також керується напругою генератора 29 низької частоти, і згладжується другим фільтром 26 нижніх частот. У результаті вимірювальних перетворень напруга (11) з виходу інтегратора 17 приймає вигляд

$$U_{10} = k_{10} k_9 k_8 S_1 k_1 k_2 k_3 k_4 R_1 T \quad (15)$$

де k_8 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 28;

k_9 - коефіцієнт випрямлення фазочутливого випрямляча 27;

k_{10} - коефіцієнт передачі другого фільтра 26 нижніх частот.

З урахуванням значення \bar{U}_Σ^2 з виразу (1) одержуємо

$$U_{10} = 4K\Delta f k_{10} k_9 k_8 S_1 k_1 k_2 k_3 k_4 R_1 T \quad (16)$$

З виразу (16) видно, що постійна напруга U_{10} на виході другого фільтра 26 нижніх частот пропорційна як температурі T досліджуваного матеріалу, так і його електричному опору R_1 .

В блоці ділення 24 напруга U_9 поділяється на напругу U_{10} . При діленні варто врахувати, що вибіркові підсилювачі 20 і 28 низької частоти, фазочутливі випрямлячі 21 і 27, фільтри нижніх частот 22 і 26 однотипні, тоді можна вважати, що

$$k_5 = k_8, \quad k_6 = k_9, \quad k_7 = k_{10} \quad (17)$$

З урахуванням рівнянь (17) вихідна напруга блоку ділення 24

$$U_{11} = S_2 \frac{U_9}{U_{10}} = S_2 \frac{R_2}{R_1} \quad (18)$$

де S_2 - масштабний коефіцієнт блоку ділення 24.

Оскільки опір резистора 19 зворотнього зв'язку $R_2 = \text{const}$, то вихідна напруга блоку ділення 24 зворотньо пропорційна опоріві досліджуваного матеріалу, тобто пропорційна його вологості:

$$U_{12} = f(W) \quad (19)$$

де W - вологість досліджуваного матеріалу.

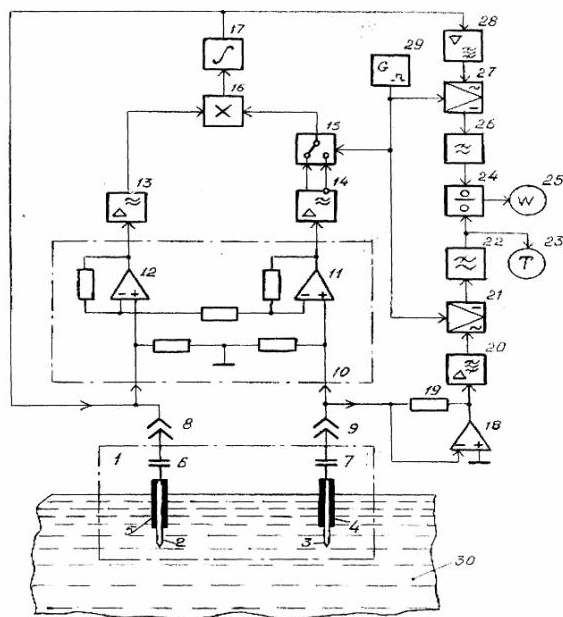
Постійна напруга U_{12} вимірюється другим приладом 25, шкала якого градується в одиницях вологості.

Таким чином, показання другого вимірювального приладу 25 пропорційні

значенням вологості незалежно від температури досліджуваного матеріалу. Залежність самої вологості від температури можна урахувати за показниками вимірювального приладу 23, що відбиває температуру глибинних шарів матеріалу з контрольованою вологістю. Наявність прямої, а не зворотної шкали (як у прототипі) по вологості також сприяє підвищенню точності вимірювання вологості в в'язко-пластичних матеріалах. Одно-

часний контроль температури всередині матеріалу розширює функціональні можливості пропонованого кондуктометричного вимірювача.

Дослідження показали, що зміни температури матеріалу, наприклад, вершкового масла, у межах $\pm 15^\circ\text{C}$ не викликають додаткову похибку в оцінці його вологості (похибка нижча за $\pm 0,05\%$). Контроль температури в межах $+10^\circ - +35^\circ\text{C}$ дозволив врахувати температурну поправку на вологість вершкового масла і знизити результуючу похибку виміру вологості до $\pm 0,2\%$. Позитивні результати отримані також при контролі вологості мазуту, особливо при низьких температурах, а також різних мінеральних олій.



Комп'ютерна верстка М. Ключін

Підписне

Тираж 26 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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