



УКРАЇНА

(19) UA (11) 13447 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 27/02МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ШУМОВИЙ КОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ

1

2

(21) а200502201

(22) 10.03.2005

(24) 17.04.2006

(46) 17.04.2006, Бюл. № 4, 2006 р.

(72) Курко Володимир Романович, Скрипник Юрій
Олексійович(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Шумовий кондуктометричний вимірювач вологості, що містить кондуктометричний датчик, який складається з двох голчастих електродів, з'єднаних через гнучкі екрановані дроти та електричні роз'єднувачі з вимірювальною схемою, яка містить автоматичний перемикач, підсилювач напруги підвищеної частоти, перший та другий фільтри нижніх частот, причому перший - з'єднаний з входом вибіркового підсилювача низької частоти, а другий - з входом вимірювального приладу, який **відрізняється** тим, що в нього введені синхронний детектор, перетворювач струму в напругу, смуговий фільтр, квадратичний перетворювач напруги, генератор низької частоти, опорний резистор, загальна

заземлена шина, додаткові гнучкі екрановані дроти та електричні роз'єднувачі, за допомогою яких опорний резистор з'єднаний з одним із входів автоматичного перемикача і загальною заземленою шиною, причому другий вхід автоматичного перемикача з'єднаний з першим голчастим електродом, а другий голчастий електрод з'єднаний з загальною заземленою шиною, при цьому керуючий вхід автоматичного перемикача з'єднаний з виходом генератора низької частоти, який має зв'язок з синхронним детектором, який з'єднаний з виходом вибіркового підсилювача низької частоти і другим фільтром нижніх частот, а вихід автоматичного перемикача з'єднаний з високопотенційним входом перетворювача струму в напругу, низькопотенційний вхід якого з'єднаний з загальною заземленою шиною, а вихід - з входом смугового фільтра, вихід якого має зв'язок з послідовно з'єднаними підсилювачем напруги підвищеної частоти, квадратичним перетворювачем напруги і першим фільтром нижніх частот.

Корисна модель відноситься до області кондуктометричних методів аналізу складу матеріалів та речовин і може бути використаний для контролю вологості в'язко-пластичних матеріалів та речовин, виготовлених на безводній основі в харчовій, фармацевтичній та парфумерній промисловості без їх електрохімічного руйнування.

Перспективним неруйнівним методом кондуктометричного контролю є шумова кондуктометрія, яка дозволяє визначити електричний опір досліджуваної речовини або матеріалу без зовнішніх електричних впливів за рівнем власних електричних шумів. Останні є наслідком теплового хаотичного руху елементарних носіїв струму (електронів та іонів), які знаходяться в тепловій рівновазі з молекулами речовини [див. Скрипник Ю.О., Курко В.Р., Скрипник В.І. Шумова кондуктометрія // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. Збірник наукових праць. - Київ, вип. 12, 2002, С.109-112].

Відомий шумовий кондуктометричний вимірювач вологості, в якому за допомогою металевих електродів, занурених в досліджуваний в'язко-пластичний матеріал, виділяють напругу теплового шуму, пропорційну його електричному опору, а отже пропорційну і його вологості [див. Курко В.Р., Скрипник Ю.О., Скрипник В.І. Термошумовий вимірювач вологості // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. Збірник наукових праць - Київ, вип. 13, 2003, С.191-193].

Цей вимірювач за значенням вимірюваного теплового шуму дозволяє одержати інформацію про об'ємну вологість в'язко-пластичного матеріалу без впливу поверхневої вологості і дії на нього зовнішньої електричної напруги, що повністю виключає електролітичне розкладання компонентів контрольованого матеріалу. Проте, електричні шуми вимірювальної схеми, які мають один порядок з тепловими шумами контрольованого матері-

(13) U

(11) 13447

(19) UA

алу, не дозволяють одержати високу точність вимірювання вологості.

Відомий також шумовий кондуктометричний вимірювач вологості [патент України №62760А, МПК G01N27/02, Бюл. №12, 2003р.], що містить кондуктометричний датчик, який складається з двох голчастих електродів з'єднаних через гнучкі екрановані дроти та електричні роз'єднувачі з вимірювальною схемою, яка містить автоматичний перемикач, підсилювач напруги підвищеної частоти, перший та другий фільтр нижніх частот, причому перший - з'єднаний з входом вибіркового підсилювача низької частоти, а другий - з входом вимірювального приладу.

Крім того, відомий вимірювач вологості включає диференційний підсилювач на двох операційних підсилювачах, розмножувальний блок, другий підсилювач підвищених частот та автоматичний перемикач, генератор підвищеної частоти з подільником частоти.

Завдяки перемноженню напруг теплових шумів, підсилених двома незалежними підсилювачами підвищеної частоти, і подальшому їх усередненню фільтром нижніх частот пригнічується вплив власних шумів підсилювачів. Але наявність розмножувального блоку та інших вказаних елементів не забезпечує стабільного нуля вимірювача вологості при відсутності вологи в досліджуваному матеріалі. Справа в тому, що навіть повністю зневоднений матеріал являє собою реальний діелектрик з електричними втратами, у якому генерується тепловий шум, пропорційний цим втратам. Наявність початкового шуму, не пов'язаного з вологою матеріалу, суттєво погіршує точність характеристики шумового вимірювача, особливо в зоні малих значень вологості. Крім того, відомий вимірювач має зворотну шкалу, оскільки напруга теплових шумів пропорційна опорі контрольованого матеріалу, а вологість зворотно пропорційна цьому опорі. Ці схемні особливості знижують точність вимірювання вологості по шумам.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий шумовий кондуктометричний вимірювач вологості, в якому введення нових елементів та зв'язків забезпечило б отримання пропорційної шкали по вологості при наявності стабільного нуля, що підвищить точність вимірювання малих значень вологості глибинних шарів в'язко-пластичного матеріалу.

Поставлена задача вирішується тим, що в шумовий кондуктометричний вимірювач вологості, що містить кондуктометричний датчик, який складається з двох голчастих електродів, з'єднаних через гнучкі екрановані дроти та електричні роз'єднувачі з вимірювальною схемою, яка містить автоматичний перемикач, підсилювач напруги підвищеної частоти, перший та другий фільтр нижніх частот, причому перший - з'єднаний з входом вибіркового підсилювача низької частоти, а другий - з входом вимірювального приладу, згідно з корисною моделлю, що в нього введені синхронний детектор, перетворювач струму в напругу, смуговий фільтр, квадратичний перетворювач напруги, генератор низької частоти, опорний резистор, загальна заземлена шина, додаткові гнучкі екрановані дроти та електричні роз'єднувачі, за допомогою

яких опорний резистор з'єднаний з одним із входів автоматичного перемикача і загальною заземленою шиною, причому другий вхід автоматичного перемикача з'єднаний з першим голчастим електродом, а другий голчастий електрод з'єднаний з загальною заземленою шиною, при цьому керуючий вхід автоматичного перемикача з'єднаний з виходом генератора низької частоти, який має зв'язок з синхронним детектором, який з'єднаний з виходом вибіркового підсилювача низької частоти і другим фільтром нижніх частот, а вихід автоматичного перемикача з'єднаний з високопотенційним входом перетворювача струму в напругу, низькопотенційний вхід якого з'єднаний з загальною заземленою шиною, а вихід - з входом смугового фільтра, вихід якого має зв'язок з послідовно з'єднаними підсилювачем напруги підвищеної частоти, квадратичним перетворювачем напруги і першим фільтром нижніх частот.

Введення у вимірювальну схему перетворювача струму в напругу з низьким вхідним опором дозволяє одержати напругу, пропорційну електропровідності вологого матеріалу, а почергове підключення з низькою частотою до входу цього перетворювача голчастого електроду і потенційного зажиму опорного резистора, який знаходиться у тепловому контакті з досліджуванним матеріалом, дозволяє виключити вплив початкової електропровідності зневодненого матеріалу. Почергове перетворення напруг, пропорційних електропровідності досліджуваного матеріалу і опорного резистора, смуговим фільтром виключає вплив нетеплових шумів вимірювальної схеми, а їх наступне квадратичне перетворення лінеаризує залежність змінної складової квадратованої напруги від вимірюваної вологості. Керування роботою синхронного детектора і автоматичного перемикача напругою від введенного генератора низької частоти забезпечує виділення низькочастотної напруги, пропорційної вимірюваній вологості, із низькочастотних шумів та перешкод, що підвищує точність вимірювання малих значень вологості глибинних шарів в'язко-пластичного матеріалу.

На кресленні представлена функціональна схема шумового кондуктометричного вимірювача вологості.

Кондуктометричний датчик 1 містить в собі голчасті електроди 2 і 3 з металу, покриті на дві третини ізолюючою плівкою 4 і 5, опорний резистор 6, чотири гнучких екранованих дроти 7, 8, 9 і 10, електричні роз'єднувачі 11, 12, 13 і 14, за допомогою яких електродний датчик з'єднується з вимірювальною схемою. Вимірювальна схема вміщує автоматичний перемикач 15, входи якого з'єднані з потенційним кінцем електрода 2 і потенційним кінцем опорного резистора 6. Вихід автоматичного перемикача 15 з'єднано з високопотенційним входом перетворювача струму в напругу 16, низькопотенційний вхід якого з'єднано із спільною заземленою шиною 17 вимірювальної схеми, до якої підключені опорний резистор 6 і голчастий електрод 3. До виходу перетворювача струму у напругу 16 підключені відносно заземленої шини 17 послідовно з'єднані смуговий фільтр 18, підсилювач напруги 19 підвищеної частоти, квадратичний перетворювач напруги 20, фільтр 21 нижніх частот,

вибірковий підсилювач низької частоти 22 і синхронний детектор 23. Керуючий вхід синхронного детектора 23 та керуючий вхід автоматичного перемикача 15 з'єднані з виходом генератора 24 низької частоти. Вихід синхронного детектора 23 через другий фільтр 25 нижніх частот з'єднано з вимірювальним приладом 26.

Позицією 27 позначено досліджуваний в'язко-пластичний матеріал, у який занурені оголеною частиною голчасті електроди 2 і 3. Опорний резистор 6 розташовують в тепловому контакті з досліджуваним матеріалом. Голчасті електроди 2 і 3 та опорний резистор 6, що входять до складу кондуктометричного датчика 1, дистанційно підключаються до вимірювальної схеми через вказані електричні роз'єднувачі та гнучкі екрановані дроти.

Шумовий кондуктометричний вимірювач вологості працює наступним чином.

Між зануреними у в'язко-пластичний матеріал 27 голчастими електродами 2 і 3 кондуктометричного датчика 1 діє електрична напруга від теплових шумів, які виникають у вологому матеріалі через хаотичний рух вільних електродів та іонів. Середньоквадратичне значення шумової напруги пропорційне опору досліджуваного середовища між електродами та його температурі:

$$\bar{U}_{\text{ш}} = \sqrt{4k\Delta fRT}, \quad (1)$$

де k - стала Больцмана;

Δf - смуга частот, в якій вимірюється шумова напруга;

R - електричний опір досліджуваного матеріалу;

T - термодинамічна температура досліджуваного матеріалу.

Шумовий струм, який виникає в середовищі з опором R

$$\bar{i}_{\text{ш}1} = \frac{\bar{U}_{\text{ш}}}{R} = \sqrt{4k\Delta fT/R} = \sqrt{4k\Delta fTG}, \quad (2)$$

де G - електропровідність досліджуваного матеріалу, пропорційна вологості.

Беручи до уваги, що обезводнений матеріал має хоч і не велику початкову електропровідність G_0 , подамо електропровідність вологого матеріалу у вигляді суми

$$G = G_0 + G_{\text{в}}, \quad (3)$$

де $G_{\text{в}}$ електропровідність вологого матеріалу, обумовлена, в основному, іонною провідністю.

Для одержання інформації про шумовий струм (2) потенційний голчастий електрод 2 через автоматичний перемикач 15 підключається до низькоомного входу перетворювача 16 струму у напругу. Низькоомний вхід перетворювача відносно загальної заземленої шини 17 забезпечує практично режим короткого замикання голчастих електродів 2 і 3, з яких голчастий електрод 3 з'єднано з загальною заземленою шиною 17 і, таким чином, заземлено. При другому положенні автоматичного перемикача 15 вхід перетворювача 16 струму в напругу з'єднується з потенційним зажимом опорного резистора 6, який знаходиться в тепловому контакті з досліджуваним матеріалом 27. Електропровідність опорного резистора 6 обирається рівною електропровідності зневодненого матеріалу.

Тоді через низькоомний ланцюг перетворювача струму в напругу 16 протікає струм

$$\bar{i}_{\text{ш}2} = \sqrt{4k\Delta fTG_0}. \quad (4)$$

Через періодичні перемикання автоматичного перемикача 15, який керується напругою генератора 24 низької частоти, на виході перетворювача 16 струму в напругу формуються пакети шумових напруг. Тривалість цих пакетів напруг визначається напівперіодом напруги генератора 24 низької частоти. Середньоквадратичні значення цих напруг визначаються як вхідними шумовими струмами (2) і (4), так і власними шумовими струмами перетворювача 16 струму в напругу, які сумірні з вхідними шумовими струмами. Беручи до уваги те, що власні шуми перетворювача 16 струму в напругу не корельовані з вимірюваними шумами досліджуваного матеріалу 27 та опорного резистора 6, пакети вихідних напруг перетворювача 16 струму в напругу можна представити у вигляді:

$$\bar{U}_{\text{ш}1} = S_1 \sqrt{4k\Delta fT(G_0 + G_{\text{в}}) + i_{\text{ш}3}^2}, \quad (5)$$

$$\bar{U}_{\text{ш}2} = S_1 \sqrt{4k\Delta fTG_0 + i_{\text{ш}3}^2}, \quad (6)$$

де S_1 - крутизна перетворення шумового струму у напругу;

$i_{\text{ш}3}$ - власний шумовий струм перетворювача 16.

Пакети напруг (5) і (6) по чергово проходять крізь смуговий фільтр 18 зі смугою пропускання Δf_0 , яка забезпечує виділення спектру теплових шумів із спільного спектру електричних шумів. Виділена напруга теплових шумів підсилюється підсилювачем 19 підвищеної частоти з власними шумами, які також не корельовані з вимірюваними шумами та шумами перетворювача 16 струму в напругу. Внаслідок цього всі шумові напруги підсумовуються на вході підсилювача напруги підвищеної частоти 19 квадратично, і пакети сумарних середньоквадратичних напруг підсилюються з однаковим коефіцієнтом підсилення:

$$\bar{U}_{\text{ш}3} = K_1 \sqrt{S_1^2 [4k\Delta f_0 T (G_0 + G_{\text{в}}) + i_{\text{ш}3}^2] + U_{\text{ш}5}^2}, \quad (7)$$

$$\bar{U}_{\text{ш}4} = K_1 \sqrt{S_1^2 (4k\Delta f_0 TG_0 + i_{\text{ш}3}^2) + U_{\text{ш}5}^2}, \quad (8)$$

де K_1 - коефіцієнт підсилення підсилювача 19 підвищеної частоти;

$U_{\text{ш}5}$ - напруга власних шумів підсилювача 19 підвищеної частоти.

Підсилені напруги (7) і (8) квадратично перетворюються в квадратичному перетворювачі напруги 20 і усереднюються фільтром 21 нижніх частот. Внаслідок усереднення формуються відеоімпульси з амплітудами:

$$U_6 = S_2 K_2 K_1^2 \{ S_1^2 [4k\Delta f_0 T (G_0 + G_{\text{в}}) + i_{\text{ш}3}^2] + U_{\text{ш}5}^2 \}, \quad (9)$$

$$U_7 = S_2 K_2 K_1^2 [S_1^2 (4k\Delta f_0 TG_0 + i_{\text{ш}3}^2) + U_{\text{ш}5}^2], \quad (10)$$

де S_2 - крутизна квадратичного перетворення;

K_2 - коефіцієнт передачі фільтра 21 нижніх частот.

Оскільки амплітуди відеоімпульсов (9) і (10) не є рівними, то в послідовності відеоімпульсов присутня змінна складова напруги з амплітудою

$$U_8 = \frac{U_6 - U_7}{2} = 2S_2K_2K_1^2S_1^2k\Delta fTG_B. \quad (11)$$

Частота змінної складової (11) відповідає частоті перемикачів автоматичного перемикача 15.

Змінна напруга (11) підсилюється вибіркоким підсилювачем низької частоти 22, що настроєний на частоту генератора 24 низької частоти, який керує роботою як автоматичного перемикача 15, так і синхронного детектора 23. Підсилена вибірково напруга випрямляється синхронним детектором 23 і згладжується фільтром 25 нижніх частот.

Вихідним приладом 26 вимірюється стала напруга

$$U_9 = K_3K_4K_5U_8, \quad (12)$$

де K_3 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача низької частоти 22;

K_4 - коефіцієнт випрямлення синхронного детектора 23;

K_5 - коефіцієнт передачі фільтра 25 нижніх частот.

Підставляючи у вираз (12) значення напруги U_8 з (11), остаточно одержимо

$$U_{10} = S_0G_B, \quad (13)$$

де $S_0 = 2K_5K_4K_3K_2S_2K_1^2S_1^2k\Delta f_0T$ - крутизна перетворення електропровідності в сталу напругу.

Вологість в'язко-пластичних матеріалів, які виготовляються на безводній основі, зазвичай не перевищує 0,05-2%. Для таких малих вологостей можна вважати залежність електропровідності матеріалу (3) від вологості лінійною

$$G = G_0 + G_B = A + BW, \quad (14)$$

де W - вологість матеріалу;

A і B - коефіцієнти, які залежать від складу і структури матеріалу.

Оскільки вимірювана напруга (13) не залежить від електропровідності зневодненого матеріалу, то зв'язок його з вологістю буде пропорційним

$$U_{10} = S_0BW. \quad (15)$$

Таким чином, схемно-технічне рішення шумового кондуктометричного вимірювача вологості забезпечує стабільний нуль, що дозволяє контролювати малі значення вологості. Виключення впливу теплових шумів зневодненого матеріалу забезпечує пропорційний характер шкали шумового вологоміра в діапазоні малих значень (до 3-5% об'ємної вологості).

Дослідження показали, що власні шуми перетворювача струму в напругу 16 не впливають на показання вимірювача вологості, але ж їх наявність звужує діапазон вимірюваних вологостей через насиченість підсилювача напруги 19 підвищеної частоти сумарним шумом. Для зниження шумів перетворювача струму в напругу 16 було розроблено мал шумливий перетворювач з еквівалентним шумовим опором менш, ніж 10 Ом. У перших каскадах перетворювача струму в напругу 16 використовувалось паралельне включення трьох польових транзисторів з сумарною крутизною характеристики приблизно 100, наприклад транзисторів КП307Г. При цьому перетворювач цілком охоплено паралельним від'ємним зворотним зв'язком, що знижує його вхідний опір. В якості опорного резистора 6 використано металоплівочний резистор опором 10 МОм, який знаходиться в тепловому контакті з досліджуванним середовищем 27. Підсилювач напруги підвищеної частоти 19 виконано на мал шумливих операційних підсилювачах, наприклад, 1407УД1, а квадратичний перетворювач напруги 20 - на інтегральному перемножувачі КМ525ПС3А. Автоматичний перемикач 15 і синхронний детектор 23 побудовані з використанням мікросхем типу КР572ПВ2. Час усереднення вихідного сигналу, який задається фільтром 25 нижніх частот, не перевищує 5с при частоті перемикачів шумових сигналів порядку 75Гц.

