



УКРАЇНА

(19) UA (11) 50784 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 27/06  
G01R 27/22

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОГО ОПОРУ ВИСОКООМНИХ РІДИН

1

2

(21) u200913060

(22) 15.12.2009

(24) 25.06.2010

(46) 25.06.2010, Бюл. № 12, 2010 р.

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, БАРСУКОВ  
В'ЯЧЕСЛАВ ЗИНОВІЙОВИЧ, САННИКОВ ВОЛО-  
ДИМИР ЮРІЙОВИЧ, ЗАМОРСЬКА МАРИНА СЕР-  
ГІЙВНА

(73) КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Пристрій для вимірювання активного опору  
високоомних рідин, що містить коаксіальну кондук-  
тометричну комірку, що складається із внутрішньо-  
го і зовнішнього електродів, закріплених ізоляцій-  
ними шайбами, послідовно з'єднані вибірний  
підсилювач, квадратичний перетворювач і фільтр  
нижніх частот, який **відрізняється** тим, що в нього  
додатково введені аналого-цифровий перетворю-  
вач, мікроконтролер, персональна ЕОМ, чотири

керованих ключі, перетворювач струму в напругу і  
повторювач напруги, вхід якого з'єднаний через  
перший керований ключ із одним кінцем внутріш-  
нього електрода, інший кінець якого з'єднаний із  
зовнішнім електродом через другий керований  
ключ і вхід перетворювача струму в напругу, вихід  
повторювача напруги через третій керований ключ  
і вихід перетворювача струму в напругу через чет-  
вертий керований ключ з'єднані із входом вибірно-  
го підсилювача, вихід фільтра нижніх частот через  
аналого-цифровий перетворювач з'єднаний із вхо-  
дом мікроконтролера, перший вихід якого з'єдна-  
ний з керуючим входом першого керованого ключа,  
другий вихід з'єднаний з керуючим входом  
другого керованого ключа, третій вихід з'єднаний з  
керуючим входом третього керованого ключа й  
четвертий вихід з'єднаний з керуючим входом чет-  
вертого керованого ключа, а керуючий вхід мікро-  
контролера з'єднаний з персональною ЕОМ.

Корисна модель відноситься до галузі контро-  
лю електричного опору рідин і може бути викорис-  
тана для вимірювання активного опору високоом-  
них рідин, що отримують у процесі їхньої очистки.

Високоомні рідини, зокрема, високоомна вода  
широко використовується в різних галузях проми-  
словості як особливо чистий розчинник (в елект-  
ронній промисловості, хімічних технологіях, у ви-  
робництві лікарських препаратів і т.п.). Чим менше  
домішок у рідині, тим вище її електричний опір.  
Тому при контролі ступеня очищення, як самої  
рідини, так і різних речовин і матеріалів у процесі  
їх промивання очищеною водою значення актив-  
ного опору рідини є мірою відсутності в ній домі-  
шок, які створюють іонну й моліонну електропровід-  
ність. Для контролю опору промивних рідин  
(води, спирту, бензину й т.п.) використовують кон-  
дуктометричні комірки, на які подають постійну або  
змінну напругу [Григелес М.С., Филановский Б.К.,  
Контактная кондуктометрия: Теория и практика  
метода. - Л.: Химия, 1980. - с. 136-139]. Однак,  
через проходження через рідину електричного  
струму виникає дисоціація молекул цієї рідини, що

також збільшує примісну електропровідність за  
рахунок іонної провідності самої рідини.

Підвищення частоти напруги, що живить кон-  
дуктометричну комірку, зменшує поляризацію елек-  
тродів комірки й інтенсивність дисоціації молекул  
рідини, але при цьому зростає вплив реактивної  
складової опору рідини через розподілену ємність  
й індуктивність самої комірки. Внаслідок цього  
електричний струм від зовнішнього джерела пос-  
тійної або змінної напруги є небажаним, тому що  
при будь-якому струмі через електрохімічне розкла-  
дання речовини спотворюються результати ви-  
міру опору рідини.

Можливе одержання інформації про опір ріди-  
ни, а саме про його активну складову, шляхом  
виміру флюктууючої електричної напруги електродів  
кондуктометричної комірки від хаотичного (броу-  
нівського) руху іонів, що перебувають у тепловій  
рівновазі з молекулами рідини [Троицкий В.С.,  
Любина А.Т. і Золотов А.В. Экспериментальное  
исследование тепловых шумов некоторых прово-  
дников. /Журнал экспериментальной и теоретиче-  
ской физики. Т. 25, Вып. 4(10), 1953, с. 455-462].  
При цьому немає необхідності подавати на конду-

(13) U

(11) 50784

(19) UA

ктометричну комірку зовнішньої напруги, а об'єктом виміру є спектральна щільність теплового шуму, пропорційна опору рідини.

Відомий пристрій для виміру активного опору високоомних рідин [Курко В.Р., Скрипник Ю.О., Дубровний В.О. Аналітичний опис роботи термошумового вологоміра. /Вісник КНУТД, № 5, 2004, с. 54-59], що містить кондуктометричну комірку, диференціальний підсилювач, автоматичний перемикач, блок множення, фільтр нижніх частот, вибірний підсилювач низької частоти, фазочутливий випрямляч, генератор низької частоти й вимірювальний прилад.

У відомому пристрої температура рідини сильно впливає на її активний опір, тому що рівень теплових шумів рідини однаковою мірою залежить як від опору рідини, так і від її температури.

Відомий також пристрій для виміру активного опору високоомних рідин [Деклараційний патент на винахід № 66720 А, МПК G01 N27/06, G01 R27/22, Бюл № 5, 2004 р.], що містить коаксіальну кондуктометричну комірку, що складається із внутрішнього і зовнішнього циліндричних електродів, закріплених ізоляційними шайбами, послідовно з'єднані вибірний підсилювач, квадратичний перетворювач і фільтр нижніх частот.

Крім того пристрій включає диференціальний розщеплювач шумової напруги, суматор, інвертор, генератор низької частоти, фазочутливий випрямляч і блок температурної компенсації на основі операційного підсилювача з терморезистором.

Наявність блоку температурної компенсації в складі вимірювальної схеми відомого пристрою усуває вплив температури рідини на її активний опір. Однак, залежність номінальної крутизни перетворення опору рідини у вихідну напругу пристрою від нестабільних коефіцієнтів підсилення вибірного підсилювача, його смуги частот, масштабового коефіцієнта суматора, коефіцієнта підсилення підсилювача низької частоти крутизни квадратичного детектора й інших ланок не забезпечує високу точність вимірювання опору досліджуваної рідини.

В основу корисної моделі покладене завдання створення такого пристрою для виміру активного опору високоомних рідин, у якому введення нових елементів і зв'язків, забезпечилося б підвищенням точності виміру опору високоомної рідини.

Поставлене завдання вирішується тим, що містить коаксіальну кондуктометричну комірку, що складається із внутрішнього і зовнішнього електродів, закріплених ізоляційними шайбами, послідовно з'єднані вибірний підсилювач, квадратичний перетворювач і фільтр нижніх частот, відповідно до корисної моделі, в нього додатково введені аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер, персональна ЕОМ, чотири керованих ключі, перетворювач струму в напругу і повторювач напруги, вхід якого з'єднаний через перший керований ключ із одним кінцем внутрішнього електрода, інший кінець якого з'єднаний із зовнішнім електродом через другий керований ключ і вхід перетворювача струму в напругу, вихід повторювача напруги через третій керований ключ і вихід перетворювача струму в напругу через четвертий керований ключ

з'єднані із входом вибірного підсилювача, вихід фільтра нижніх частот через аналого-цифровий перетворювач з'єднаний із входом мікроконтролера, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого керованого ключа, другий вихід з'єднаний з керуючим входом другого керованого ключа, третій вихід з'єднаний з керуючим входом третього керованого ключа й четвертий вихід з'єднаний з керуючим входом четвертого керованого ключа, а керуючий вхід мікроконтролера з'єднаний з персональною ЕОМ.

Введення у відомий пристрій додатково аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролера, персональної ЕОМ, чотирьох керованих ключів, перетворювача струму в напругу й повторювача напруги, включених зазначеним чином, дозволяє здійснити за допомогою комп'ютерної програми й мікроконтролера поетапно чотири незалежні виміри. На першому етапі при замиканні першого й третього керованих ключів перетворюється шумова напруга досліджуваної рідини разом з власними шумами повторювача напруги й підсилювально-перетворювального тракту в перший цифровий код. На другому етапі при розмиканні першого керованого ключа перетворюється в другий цифровий код власні шуми тільки повторювача напруги й підсилювально-перетворювального тракту. На третьому етапі при розмиканні третього керованого ключа й замиканні четвертого керованого ключа перетворюють шумовий струм досліджуваної рідини разом із власними шумами перетворювача струму в напругу і підсилювально-перетворювального тракту в третій цифровий код. І, нарешті, на четвертому етапі при розмиканні другого керованого ключа в четвертий цифровий код перетворюються власні шуми перетворювача струму в напругу і підсилювально-перетворювального тракту. Незалежно від мінливості параметрів перетворювальних ланок і температури, а також незалежно від рівня власних шумів перетворювальних ланок по програмі обчислюється результуючий цифровий код пропорційний активному опору досліджуваної рідини, що забезпечує підвищення точності виміру активного опору рідини по її тепловому шуму без зовнішнього електричного впливу.

На кресленні представлена функціональна електрична схема пристрою для виміру активного опору високоомних рідин.

Пристрій містить коаксіальну кондуктометричну комірку 1 із внутрішнім електродом 2 і зовнішнім електродом 3, які закріплені в комірці ізоляційними шайбами 4 й 5. Повторювач напруги 6, вхід якого з'єднаний через перший керований ключ 7 з одним кінцем внутрішнього електрода 2 кондуктометричної комірки 1, інший кінець якої з'єднаний через перетворювач 8 струму в напругу із зовнішнім електродом. Послідовно із входом перетворювача струму 8 в напругу включений другий керований ключ 9. Вихід повторювача напруги 6 через третій керований ключ 10 і вихід перетворювача струму в напругу 8 через четвертий керований ключ 11 з'єднані із входом вибірного підсилювача 12, вихід якого через квадратичний перетворювач 13 і фільтр 14 нижніх частот з'єднаний із входом ана-

лого-цифрового перетворювача 15, цифровий вихід якого з'єднаний із входом мікроконтролера 16, керуючий вхід якого з'єднаний з персональною ЕОМ 17. Перший вихід мікроконтролера 16 з'єднаний з керуючим входом керованого ключа 7, другий вихід мікроконтролера - з керуючим входом керованого ключа 9, третій вихід мікроконтролера - з керуючим входом керованого ключа 10 і четвертий вихід мікроконтролера - з керуючим входом керованого ключа 11. Електроди 2, 3 виконані циліндричними металевими, причому зовнішній електрод 3 заземлений.

Пристрій працює наступним чином. У рідині, що перебуває або протікає через кондуктометричну комірку 1, навіть після очищення присутні іони залишкових домішок та іони складових води. Тепловий шум від флюктуючих іонів створює різницю електричних потенціалів між внутрішнім електродом 2 кондуктометричної комірки і її зовнішнім заземленим електродом 3.

Середньоквадратичне (ефективне) значення цієї напруги відповідно до формули Найквіста виражається виразом

$$\overline{U_{n1}} = 2\sqrt{kT\Delta f \operatorname{Re} z}, \quad (1)$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  - постійна Больцмана;

$T$  - термодинамічна температура рідини в градусах Кельвіна;

$\Delta f$  - смуга частот, у якій виділяється шумова напруга, у Гц;

$\operatorname{Re} z$  - активна складова повного опору кондуктометричної комірки в Омах.

По програмі персональної ЕОМ 17 на першому етапі виміру замикаються керовані ключі 7 і 10. Шумова напруга (1) через повторювач напруги 6 з високоомним входом надходить на вибірний підсилювач 12 зі смугою пропускання  $\Delta f$ . Миттєві значення підсиленої напруги разом із власними шумами вибірного підсилювача 12 зводяться у квадрат квадратичним перетворювачем 13 й усереднюються фільтром 14 нижніх частот. Враховуючи, що власні шуми повторювача напруги 11 і вибірного підсилювача 12 не корельовані між собою і не корельовані з тепловим шумом кондуктометричної комірки 1, постійна складова усередненої напруги

$$U_2 = S_1 k_1^2 k_2 \left( \overline{U_{n1}^2} + \overline{U_{n2}^2} + \overline{U_{n3}^2} \right), \quad (2)$$

де  $S_1$  - крутизна перетворення квадратичного перетворювача 13;

$k_1$  - коефіцієнт підсилення вибірного підсилювача 12;

$k_2$  - коефіцієнт передачі фільтра 14 нижніх частот;

$\overline{U_{n1}^2}, \overline{U_{n2}^2}, \overline{U_{n3}^2}$  - дисперсія (середній квадрат) шумів кондуктометричної комірки 1, повторювача напруги 6 і вибірного підсилювача 12.

Постійна напруга (2) перетворюється в цифровий код за допомогою аналого-цифрового перетворювача 15. Цифровий код

$$N_1 = \frac{U_2}{q}, \quad (3)$$

де  $q$  - одиниця молодшого розряду АІДП 15, надходить у мікроконтролер 16, у якому запам'ятовується.

На другому етапі вимірювання по команді мікроконтролера 16 розмикається керований ключ 7. При цьому підсилюються й квадратується тільки власні шуми повторювача напруги 6 і вибірного підсилювача 12. На виході аналого-цифрового перетворювача 15 формується друге значення цифрового коду

$$N_2 = \frac{S_1 k_1^2 k_2 \left( \overline{U_{n2}^2} + \overline{U_{n3}^2} \right)}{q}, \quad (4)$$

яке запам'ятовується в мікроконтролері 16.

Відповідно до програми на третьому етапі вимірів командами мікроконтролера 16 розмикається керований ключ 10, і замикаються керовані ключі 9 і 11. У цьому випадку через вхідний низькоомний ланцюг перетворювача 8 струму в напругу протікає шумовий струм кондуктометричної комірки 1, середньоквадратичне (ефективне) значення якого

$$\overline{I_{n1}} = 2\sqrt{\frac{kT\Delta f}{\operatorname{Re} z}}, \quad (5)$$

На вибірний підсилювач 12 надходить вихідна шумова напруга перетворювача 8 струму в напругу

$$\overline{U_{n4}} = \sqrt{S_2^2 \overline{I_{n1}^2} + \overline{U_{n5}^2}}, \quad (6)$$

де  $S_2$  - крутизна перетворення струму в напругу;

$\overline{U_{n5}^2}$  - дисперсія напруги власних шумів перетворювача 8 струму у напругу.

На виході аналого-цифрового перетворювача 15 формується третє значення цифрового коду

$$N_3 = \frac{S_1 k_1^2 k_2 \left( \overline{U_{n4}^2} + \overline{U_{n3}^2} \right)}{q}, \quad (7)$$

яке також запам'ятовується в мікроконтролері 16.

На четвертому етапі дослідження командою мікроконтролера 16 розмикається керований ключ 9, що включений послідовно з низькоомним входом перетворювача 8 струму в напругу. При цьому в цифровий код перетворюються напруги власних шумів перетворювача 8 струму в напругу і вибірного підсилювача 12

$$N_4 = \frac{S_1 k_1^2 k_2 \left( \overline{U_{n3}^2} + \overline{U_{n5}^2} \right)}{q}, \quad (8)$$

3 пам'яті мікроконтролера 16 цифрові коди  $N_1, N_2, N_3, N_4$  по інтерфейсу надходять у персональну ЕОМ 17, у процесорі якої обчислюється результуючий цифровий код по алгоритму

$$N_5 = \sqrt{\frac{N_1 - N_2}{N_3 - N_4}} \quad (9)$$

Підставляючи у вираз (9) значення кодів (3), (4), (7) і (8), одержуємо

$$N_5 = \sqrt{\frac{U_{n1}^2}{U_{n4}^2 - U_{n5}^2}}, \quad (10)$$

Підставляючи у вираз (10) дисперсії шумових напруг (1) і (6), остаточно одержуємо

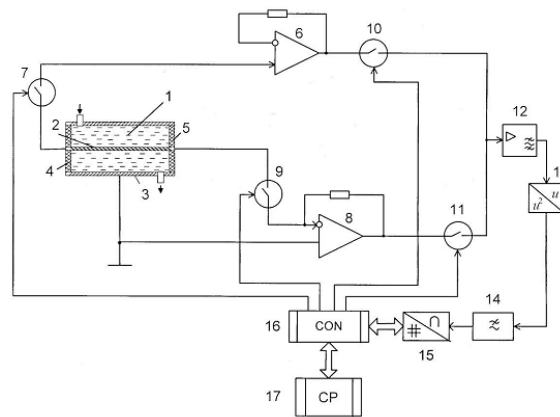
$$N_5 = \text{Re}z / S_2, \quad (11)$$

З отриманого виразу (11) видно, що кінцевий результат вимірювання пропорційний активному опору кондуктометричної комірки і не залежить як від власних шумів повторювача напруги 6  $U_{n2}$ , перетворювача 8 струму в напругу  $U_{n5}$  і вибірного підсилювача 12  $U_{n3}$ , так і нестабільності крутизни перетворення квадратичного перетворювача 13  $K_1$ , коефіцієнта підсилення вибірного підсилювача 12  $K_1$  і коефіцієнта передачі фільтра 14 нижніх частот  $K_2$ .

У вираз (11) не входить смуга частот  $\Delta f$  і термодинамічна температура рідини  $T$ , а отже, виключається вплив найбільш дестабілізуючих параметрів у формулі Найквіста (1) на рівень шумової напруги і шумового струму, пропорційних опору рідини.

Таким чином, введення нових елементів і зв'язків в найближчий аналог забезпечує істотне підвищення точності виміру активного опору високоомної рідини без прикладення зовнішньої електричної напруги до кондуктометричної комірки. Відсутність електрохімічного розкладання води або інших рідин дозволяє проводити більш достовірний аналіз на наявність домішок у цих середовищах. Дослідження показали, що із широкого спектра теплових шумів рідини доцільно вибірним підсилювачем виділяти ділянки спектра в діапазоні частот 50-200 кГц зі смугою пропускання 15-20 кГц. Час усереднення квадратованої шумової напруги варто здійснювати протягом 5-10 с виходячи зі статичних характеристик теплового шуму. Використання мікроконтролера й персональної ЕОМ у схемі пристрою дозволяє повністю автоматизувати чотирьохетапний процес вимірювання опору рідини, а результат вимірювання виводити на дисплей ЕОМ після відповідної обробки.

Через відсутність електрохімічного розкладання рідкого середовища в процесі вимірювання істотно підвищується безпека екологічного контролю ряду речовин і матеріалів, таких як харчові продукти і лікарські препарати. Використання запропонованого пристрою забезпечує більш ретельне очищення високоомної води для потреб промисловості й охорони здоров'я.



Фиг.