

УДК 621.317

## ТЕПЛОШУМОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОГО ОПОРУ ВИСОКООМНИХ РІДИН

**В.Ю.Санніков, Ю.О.Скрипник**

Київський національний університет технологій та дизайну

*Розглянуто спосіб підвищення точності вимірювання активного електричного опору високоомних рідин без прикладення зовнішньої електричної напруги до кондуктометричної комірки за рахунок аналізу значень теплового шуму, який підвищує точність вимірювання та виключає вплив електрохімічного розкладання води або інших рідин та дозволяє проводити більш достовірний аналіз наявності домішок.*

**Ключові слова:** шумовий сигнал, високоомна рідина, кондуктометрична комірка, дисперсія шумових сигналів.

Високоомні рідини, зокрема, високоомна вода широко використовується в різних галузях промисловості як особливо чистий розчинник (в електронній промисловості, хімічних технологіях, у виробництві 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 активного опору рідини є мірою відсутності в ній домішок, які створюють іонну й моліонну електропровідність. Для контролю опору промивних рідин (води, спирту, бензину й т.п.) використовують кондуктометричні комірки, на які подають постійну або змінну напругу [1]. Однак, проходження через рідину електричного струму викликає дисоціацію молекул цієї рідини, що також збільшує примісну електропровідність за рахунок іонної провідності самої рідини.

Підвищення частоти напруги, що живить кондуктометричну комірку, зменшує поляризацію електродів 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 постійної або змінної напруги є небажаним, тому що при будь-якому струмі через електрохімічне розкладання речовини спотворюються результати виміру опору рідини.

Можливе одержання інформації про опір рідини, а саме про його активну складову, шляхом виміру флуктуючої електричної напруги електродів кондуктометричної комірки від хаотичного (броунівського) руху іонів, що перебувають у тепловій рівновазі з молекулами рідини [2]. При цьому немає необхідності подавати

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

В пристрої для виміру активного опору високоомних рідин [3], що містить кондуктометричну комірку, диференціальний підсилювач, автоматичний перемикач, блок множення, фільтр нижніх частот, вибіркового підсилювач низької частоти, фазочутливий випрямляч, генератор низької частоти й вимірювальний прилад основною завадою є температура рідини, яка сильно впливає на її активний опір, тому що рівень теплових шумів рідини однаковою мірою залежить як від опору рідини, так і від її температури.

В пристрої для виміру активного опору високоомних рідин [4] з метою усунення впливу температури рідини на її активний опір введено блок температурної компенсації. Однак, залежність номінальної крутизни перетворення опору рідини у вихідну напругу пристрою від нестабільних коефіцієнтів підсилення вибірного підсилювача, його смуги частот, масштабного коефіцієнта суматора, коефіцієнта підсилення підсилювача низької частоти крутизни квадратичного детектора й інших ланок не забезпечує високу точність вимірювання опору досліджуваної рідини.

#### ***Об'єкти та методи дослідження***

Об'єктом дослідження є методи та схемотехнічні рішення вимірювання активного опору за величиною дисперсії шумових сигналів. Основним методом дослідження є теорія виміру шумів, аналіз та синтез електронних схем.

#### ***Постановка завдання***

Основною задачею дослідження є виключення впливу зміни параметрів перетворюючих ланок та власних шумів елементів вимірювального тракту, що забезпечить підвищення точності виміру активного опору високоомних рідин. Вирішення поставленої задачі дозволить підвищити точність вимірювання та забезпечить достовірність результатів за рахунок виключення зовнішніх впливів на рідину, що досліджується.

#### ***Результати та їх обговорення***

Основною ідеєю запропонованого способу є послідовне отримання значень шумової напруги та струму від шумової напруги з почерговим включенням та виключенням до вимірювального тракту кондуктометричної комірки з рідиною, що досліджується. За рахунок чотирьох тактів вимірювання отримуються надлишкові

данні про значення шумових сигналів від рідини, що досліджується, та елементів вимірювального тракту з виключеною кондуктометричною коміркою. Отримана інформація перетворюється в цифровий код та поступає в контролер обробки результатів де і отримується значення активного опору.

На рисунку 1 подана структура комутаційних з'єднань кондуктометричної комірки та елементів перетворення сигналів з під'єднанням їх до загального вимірювального тракту [5].

У рідині, що перебуває або протікає через кондуктометричну комірку 1, навіть після очищення присутні іони залишкових домішок та іони складових води. Тепловий шум [2] 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 [6] визначається виразом

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

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постійна Больцмана;  $T$  – термодинамічна температура рідини в градусах Кельвіна;  $\Delta f$  – смуга частот, у якій виділяється шумова напруга, Гц;  $Re z$  – активна складова повного опору кондуктометричної комірки, Ом.

По програмі контролером 16 на першому етапі виміру замикаються керовані ключі 7 і 10. Шумова напруга (1) через повторювач напруги 6 з високоомним входом надходить на вибіркового підсилювач 12 зі смугою пропускання  $\Delta f$ . Миттєві значення підсиленої напруги разом із власними шумами вибіркового підсилювача 12 зводяться у квадрат квадратичним перетворювачем 13 й усереднюються фільтром 14 нижніх частот. Враховуючи, що власні шуми повторювача напруги 11 і вибіркового підсилювача 12 не корельовані між собою і не корельовані з тепловим шумом кондуктометричної комірки 1, постійна складова усередненої напруги має вигляд

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

де  $S_1$  – крутизна перетворення квадратичного перетворювача 13;  $k_1$  – коефіцієнт підсилення вибіркового 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.

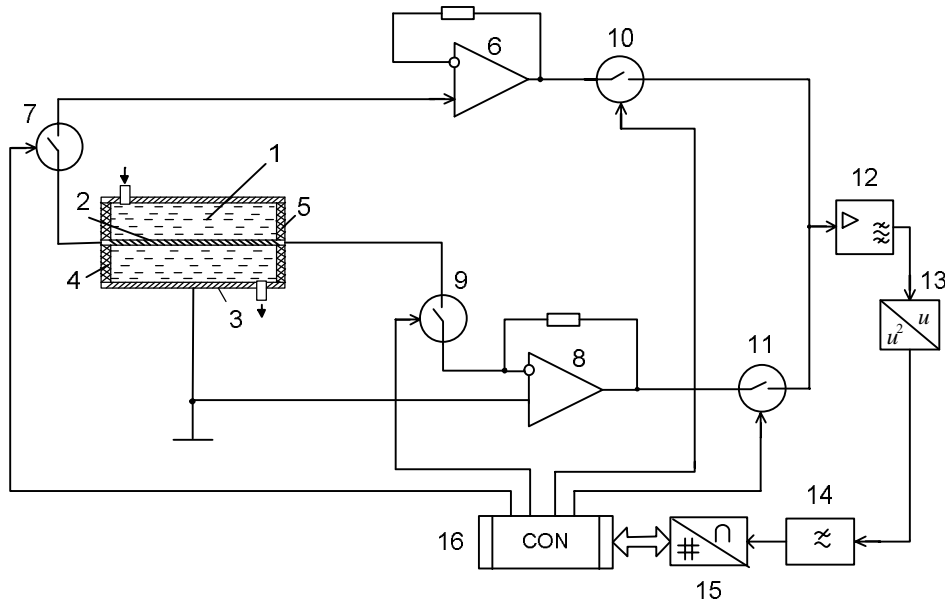


Рис. 1. Функціональна схема виміру активного опору високоомних рідин  
1 – коаксіальна кондуктометрична комірка із внутрішнім електродом 2 і зовнішнім електродом 3; 4, 5 – ізоляційні шайби; 6 – повторювач напруги; 7, 9, 10, 11 – комутаційні ключі; 8 – перетворювач струму в напругу; 12 – вибіркового підсилювач; 13 – квадратичний перетворювач; 14 – фільтр нижніх частот; 15 – аналого-цифровий перетворювач; 16 – мікроконтролер.

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 АЦП 15, надходить у контролер 16, у якому запам'ятовується.

На другому етапі вимірювання по команді контролера 16 розмикається керований ключ 7. При цьому підсилюються й квадратується тільки власні шуми повторювача напруги 6 і вибіркового 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 контролері 16.

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

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

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

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

де  $S_2$  – крутизна перетворення струму в напругу;  $\overline{U_{n5}^2}$  – дисперсія напруги власних шумів перетворювача струму 8 у напругу.

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

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

яке також запам'ятовується в контролері 16.

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

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

В контролері 16 отримані цифрові коди  $N_1, N_2, N_3, N_4$  обробляються і 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

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

а відповідно значення активного опору

$$Re z = N_5 \cdot S_2. \quad (12)$$

З отриманого виразу (12) видно, що кінцевий результат вимірювання активного опору рідини в кондуктометричній комірці не залежить як від власних шумів повторювача напруги 6 ( $U_{n2}$ ), перетворювача струму в напругу 8 ( $U_{n5}$ ) і вибіркового підсилювача 12 ( $U_{n3}$ ), так і нестабільності крутизни перетворення квадратичного перетворювача 13 ( $S_1$ ), 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.

### **Висновки**

Впровадження запропонованого методу 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. Використання контролера у запропонованій схемі дозволяє повністю автоматизувати чотирьохетапний процес вимірювання опору рідини, а результат вимірювання виводити на дисплей 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грилехес М.С. Контактная кондуктометрия: Теория и практика метода. / М.С. Грилехес, Б.К. Филановский – Л.: Химия, 1980. – С. 136 – 139.
2. Троицкий В.С. Экспериментальное исследование тепловых шумов некоторых проводников. / В.С. Троицкий, А.Т. Любина, А.В. Золотов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1953. – Т.25, Вып.4(10), С. 455 – 462.
3. Курко В.Р. Аналітичний опис роботи термошумового вологоміра. / В.Р. Курко, Ю.О. Скрипник, В.О. Дубровний // Вісник КНУТД. – 2004.– №5. – С.54 – 59.
4. Декларацийний патент на винахід №66720 А, МПК G01 N27/06. Пристрій для вимірювання електричного опору рідини / Скрипник Ю.О., Курко В.Р. Бюл.пром.влас., 2004, №5.
5. Патент України № 50784, МПК G01N27/06. Пристрій для вимірювання активного опору високоомних рідин / Скрипник Ю.О., Санніков В.Ю., Заморська М.С. Бюл.пром.влас., 2010, №12.
6. Саватеев А.В. Шумовая термометрия. / А.В. Саватеев – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987, – 132 с. ил.

***В.Ю.Санников, Ю.А.Скрипник***

***Теплошумовой метод измерения активного сопротивления высокоомных жидкостей.***

*Рассмотрен способ повышения точности измерения активного электрического сопротивления высокоомных жидкостей без приложения внешнего электрического напряжения к кондуктометрической ячейке за счет анализа значений теплового шума, который повышает точность измерения и исключает влияние электрохимического разложения воды или других жидкостей и позволяет проводить более достоверный анализ наличия примесей.*

***Ключевые слова:*** шумовой сигнал, высокоомная жидкость, кондуктометрическая ячейка, дисперсия шумовых сигналов.

***V.Yu.Sannikov, Yu.A.Skripnik***

***Noise method of measuring of active resistance of high-ohmic liquids.***

*The method of increase of exactness of measuring of pure electric resistance of high-resistance liquids is considered without the appendix of external electric tension to the conductometry cell due to the analysis of values of thermal noise which promotes measuring exactness and eliminates influence of electrochemical decomposition of water or other liquids and allows to conduct more reliable analysis of presence of admixtures.*

***Keywords:*** noise signal, the high fluid, conductivity cell, the variance of noise signals.