



УКРАЇНА

(19) UA (11) 16535 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 27/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ТЕРМОШУМОВИЙ ВИМІРЮВАЧ

1

2

(21) u200601450

(22) 13.02.2006

(24) 15.08.2006

(46) 15.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Каламєєць Тетяна Петрівна

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Термошумовий вимірювач, що містить імпедансний датчик, диференціальний підсилювач та високочастотний підсилювач з'єднаний з квадратичним детектором, який **відрізняється** тим, що додатково введені зразковий резистор, перемикач, паралельно з'єднані між собою ключ і інвертор, смуговий фільтр, інтегруючий аналого-цифровий перетворювач і мікро-ЕОМ з цифровим індикато-

ром, при цьому один з входів перемикача з'єднаний з потенціальним затискачем імпедансного датчика, другий з'єднаний з потенціальним затискачем зразкового резистора, вихід перемикача з'єднаний з прямим входом диференціального підсилювача та через інвертор з його інверсним входом, вихід диференціального підсилювача з'єднаний зі входом смугового фільтра, вихід якого з'єднаний зі входом високочастотного підсилювача, вихід квадратичного детектора з'єднаний зі входом інтегруючого аналого-цифрового перетворювача, цифровий вихід якого підключений до вхідного порту мікро-ЕОМ, а керуючі входи перемикача і ключа підключені до вихідних її портів.

Корисна модель відноситься до вимірювальної техніки і може бути використана для дослідження складу речовин та матеріалів за активною складовою повного опору імпедансних датчиків без зовнішнього зондування електричним струмом.

Імпедансні датчики широко використовуються для дослідження фізико-хімічного складу, наприклад, концентрації окремих компонентів твердих, рідких та газоподібних матеріалів. Часто інформаційним параметром імпедансного датчика є активна складова його повного опору. Для компенсації впливу реактивної складової опору на результат вимірювання використовують фазочутливі вимірювальні схеми, де схемотехнічним шляхом виокремлюється складова напруги або струму, яка співпадає по фазі з прикладеною до датчика напругою [див. Поліщук Є.С., Дорожовець М. М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник за ред. проф. Є. С. Поліщука. - Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2003. - с. 493-494].

Але в деяких випадках дія зовнішньої напруги на датчик небажана через можливість електрохімічного розкладу речовини, яка досліджується. З цим приходиться зіштовхуватися при аналізі складу харчових продуктів, біологічних матеріалів, вибухових та вогнебезпечних речо-

вин. Недопустимо зондування електричним струмом багатьох лікарських речовин та препаратів через можливий електроліз.

Для вказаних матеріалів потрібно застосовувати вимірювачі активного опору датчиків без прикладення до нього зовнішньої електричної напруги або струму. Така можливість принципово існує, якщо в якості джерела вимірювальної інформації використовувати власні електричні шуми, що існують в провідному середовищі імпедансних датчиків [див. Скрипник Ю.О., Курко В.Р., Скрипник В.Й. Шумова кондуктометрія // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. Збірник наукових праць - К.: 2002, вип.12, с. 103-112].

Відомий термошумовий вимірювач [див. Корба Л.П. Установка для измерения коэффициента шума и активного сопротивления двухполюсников на радиочастотах // Известия ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина). - 1969, вып.80, с. 57-60], що містить вхідний узгоджуючий пристрій, високочастотний підсилювач, квадратичний перетворювач, інтегратор і вольтметр постійного струму.

В цьому вимірювачі шумова напруга, що знімається з досліджуваного об'єкту (двухполюсника) підсилюється в області високих частот, квадратично перетворюється, усереднюється інтегратором

(13) U

(11) 16535

(19) UA

та вимірюється постійна складова усередненої напруги. Результат вимірювання виявляється пропорційним активній складовій повного опору досліджуваного об'єкту. Але високочастотні власні шуми підсилювача співрозмірні з інформаційним шумом досліджуваного об'єкту і значною мірою спотворюють результат вимірювання.

Відомий також термошумовий вимірювач [див. Патент України №62760А, МПК G01N27/02, 2003р., бюл.№12], що містить імпедансний датчик, диференціальний підсилювач, та високочастотний підсилювач з'єднаний з квадратичним детектором.

Крім того, термошумовий вимірювач містить послідовно з'єднані фільтр нижніх частот, вибірко-вий підсилювач низької частоти, виходи якого через автоматичний перемикач з'єднані через вихідний фільтр нижніх частот з вимірювальним приладом, керуючий вхід автоматичного перемикача підключено до виходу генератора напруги підвищеної частоти через подільник частоти.

В цьому вимірювачі автоматично виключається вплив власних шумів високочастотного підсилювача, фільтра і квадратичного детектора. Але шуми вхідного диференціального підсилювача, які найбільш впливають на результат вимірювання, залишаються некомпенсованими. Крім того, результуючий коефіцієнт перетворення вимірюемого опору в напругу, який визначає постійність чутливості вимірювання, в дійсності є нестабільним. Це обумовлено тим, що результуючий коефіцієнт залежить від нестабільності коефіцієнта підсилення високочастотного підсилювача з великим коефіцієнтом підсилення, нестабільності смуги його пропускання, а також непостійності крутизни перетворення квадратичного детектора, що впливає на точність вимірювання.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий термошумовий вимірювач, в якому введення нових елементів і зв'язків дозволило б зменшити вплив власних шумів елементів вимірювальної схеми і виключити вплив температурної та часової нестабільності коефіцієнта перетворення опору, що вимірюється, в напругу на результат вимірювання, що забезпечить підвищення точності вимірювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в термошумовий вимірювач, що містить імпедансний датчик, диференціальний підсилювач, та високочастотний підсилювач з'єднаний з квадратичним детектором, згідно з корисною моделлю, додатково введені зразковий резистор, перемикач, паралельно з'єднані між собою ключ і інвертор, смуговий фільтр, інтегруючий аналого-цифровий перетворювач і мікро-ЕОМ з цифровим індикатором, при цьому один з входів перемикача з'єднаний з потенціальним затискачем імпедансного датчика, другий з'єднаний з потенціальним затискачем зразкового резистора, вихід перемикача з'єднаний з прямим входом диференціального підсилювача та через інвертор з його інверсним входом, вихід диференціального підсилювача з'єднаний зі входом смугового фільтра, вихід якого з'єднаний зі входом високочастотного підсилювача, вихід квадратичного детектора з'єднаний зі входом інтегруючого аналого-цифрового перетво-

рювача, цифровий вихід якого підключений до вхідного порту мікро-ЕОМ, а керуючі входи перемикача і ключа підключені до вихідних її портів.

Введення в термошумовий вимірювач мікро-ЕОМ з цифровим індикатором, зразкового резистора, перемикача і ключа, які керуються від мікро-ЕОМ, інвертора, смугового фільтра та інтегруючого аналого-цифрового перетворювача дозволило при розімкнутому ключі послідовно в часі за допомогою перемикача перетворювати шумову напругу досліджуемого опору і зразкового резистора спільно з власними шумами підсилювачів в цифрові коди, які запам'ятовуються в мікро-ЕОМ, при замкнутому ключі -перетворювати тільки власні шуми підсилювачів в цифровий код, який також запам'ятовується. Подальша обчислювальна обробка в мікро-ЕОМ цифрових кодів, що заснована на відніманні власних шумів із результатів сумарних вимірювань і подальше ділення в цифровому вигляді одного зкорегованого результату вимірювання на другий дозволяє отримати код відношення досліджуваного опору до зразкового опору без впливу власних шумів підсилювачів і квадратичного детектора, що забезпечує високу точність вимірювання без впливу зовнішніх електричних напруг.

Корисна модель представлена на зображеннях, де Фіг.1 - функціональна схема термошумового вимірювача, Фіг.2 - блок-схема алгоритму програми роботи мікро-ЕОМ вимірювача.

Термошумовий вимірювач (Фіг.1) містить імпедансний датчик 1 з досліджуванним опором, зразковий резистор 2 з заданим опором, перемикач 3, один вхід якого з'єднаний з потенціальним затискачем імпедансного датчика 1, другий вхід з'єднаний з потенціальним затискачем зразкового резистора 2, вихід перемикача 3 з'єднаний через інвертор 4 (ІН), паралельно якому включений ключ 5, з інверсним входом диференціального підсилювача 6 (ДП), прямий вхід якого з'єднаний з виходом перемикача 3. До виходу диференціального підсилювача 6 підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр 7 (СФ), високочастотний підсилювач 8 (ВП) і квадратичний детектор 9 (КД). Вихід квадратичного детектора 9 з'єднаний зі входом інтегруючого аналого-цифрового перетворювача 10 (АЦП), цифровий вхід якого підключений до вхідного порту мікро-ЕОМ 11. До вихідних портів мікро-ЕОМ підключені керуючі входи перемикача 3 і ключа 5, а також цифровий індикатор 12.

Термошумовий вимірювач працює наступним чином.

Аналого-цифрова схема термошумового вимірювача працює з запам'ятовуванням результатів проміжних вимірювань у відповідності з програмою (Фіг.2), яка записана в пам'яті мікро-ЕОМ.

В програму вводять необхідні значення змінних R_0 , Δt і N (крок 2), де R_0 - опір зразкового резистора, Δt - час усереднення, N - кількість проміжних вимірювань, які необхідні для їх усереднення. Встановлюють початкові значення змінних: i - кількість проміжних вимірювань (крок 3), j - початкове (розімкнуте) положення ключа 5 (крок 4), p - початкове (верхнє) положення перемикача 3 (крок 5).

При початковому положенні перемикача 3 ($p=1$) знімається шумова напруга $U_x(t)$ з опору R_x

імпедансного датчика 1 (кроки 7 і 8). Напруга $U_X(t)$ розгалужується на виході перемикача 3 на дві однакові шумові напруги $U_1(t)=U_2(t)=U_X(t)$. Одна з напруг $U_1(t)$ поступає на прямий вхід диференціального підсилювача 6, друга напруга $U(t)$ змінює свою полярність за допомогою інвертора 4 (крок 9). В результаті цього диференціальний підсилювач 6 підсилює не різницю, а суму двох однакових напруг $U_1(t)$ і $U_2(t)$. Зазвичай сумарна напруга імпедансного датчика 1 одного порядку з власними шумами диференціального підсилювача 6.

Якщо шумову напругу $U_X(t)$ представити в комплексному вигляді як \dot{U}_X , то вихідну напругу диференціального підсилювача 6 при розімкненому ключі 5 можливо представити у вигляді суми комплексних шумових напруг:

$$\dot{U}_3 = 2k_1\dot{U}_X + \dot{U}_H + \dot{U}_B, \quad (1)$$

де k_1 - коефіцієнт підсилення диференціального підсилювача 6;

\dot{U}_H - комплексна напруга низькочастотних шумів;

\dot{U}_B - комплексна напруга високочастотних шумів.

Підсилений сумарний інформаційний шум разом з відповідними шумами диференціального підсилювача 6 (кроки 10 і 11) поступають на смуговий фільтр 7, де із адитивної суміші шумів (1) виділяється тільки високочастотний тепловий шум імпедансного датчика 1 і високочастотні шуми диференціального підсилювача 6 (крок 12). Ці шуми підсилюються високочастотним підсилювачем 8 (крок 13) і квадратично перетворюються в детекторі 9 (крок 14). Квадратована шумова напруга поступає на інтегруючий аналого-цифровий перетворювач 10, де усереднюється на заданому інтервалі часу Δt . Із усередненої напруги виділяється постійна складова напруги:

$$U_4 = S \left[k_3 k_2 (2k_1 \dot{U}_X + \dot{U}_B + \dot{U}_\Phi) \right]^2, \quad (2)$$

де k_2 - коефіцієнт передачі смугового фільтра 7;

k_3 - коефіцієнт підсилення високочастотного підсилювача 8;

S - крутизна перетворення квадратичного детектора 9;

\dot{U}_Φ - комплексна напруга шумів смугового фільтра 7 з урахуванням шумів високочастотного підсилювача 8.

Постійна складова напруги в вигляді цифрового коду N_1 зчитується з виходу інтегруючого аналого-цифрового перетворювача 10 (крок 15) і запам'ятовується в пам'яті мікро-ЕОМ 11 (крок 17).

При визначенні коду N_1 потрібно врахувати, що тепловий шум опору R_X імпедансного датчика 1 і власні шуми елементів вимірювальної схеми між собою некорельовані. Тому їх усереднені добутки дорівнюють нулю:

$$\overline{\dot{U}_X \dot{U}_B} = 0, \quad \overline{\dot{U}_X \dot{U}_\Phi} = 0, \quad \overline{\dot{U}_B \dot{U}_\Phi} = 0. \quad (3)$$

Із урахуванням умови (3) цифровий код має значення:

$$N_1 = k_2^2 k_3^2 S \left(4k_1^2 \overline{\dot{U}_X^2} + \overline{\dot{U}_B^2} + \overline{\dot{U}_\Phi^2} \right) / q + \Delta N_1, \quad (4)$$

де $\overline{\dot{U}_X^2}$ - середній квадрат шумової напруги (дисперсія) імпедансного датчика 1;

$\overline{\dot{U}_B^2}$ і $\overline{\dot{U}_\Phi^2}$ - дисперсія власних шумів елементів вимірювальної схеми;

q - одиниця молодшого розряду аналого-цифрового перетворення;

ΔN_1 - випадкові похибки аналого-цифрового перетворення (при $p = 1$).

Наступна серія кроків програми формується збільшенням змінної p на одиницю (крок 18). В результаті виконання умов вибору (кроки 6 і 19) перемикач 3 по сигналу керування мікро-ЕОМ 11 переводиться в нижнє положення (крок 20). При цьому на диференціальний підсилювач 6 починає поступати сумарна шумова напруга $2U_0$ зразкового резистора 2 (крок 21). На виході диференціального підсилювача 6 утворюється сумарна шумова напруга аналогічна виразу (1):

$$\dot{U}_5 = 2k_1\dot{U}_0 + \dot{U}_H + \dot{U}_B. \quad (5)$$

В результаті аналого-цифрового перетворення напруги (кроки 9-17) в мікро-ЕОМ 11 запам'ятовується цифровий код аналогічний виразу (4):

$$N_2 = k_2^2 k_3^2 S \left(4k_1^2 \overline{\dot{U}_0^2} + \overline{\dot{U}_B^2} + \overline{\dot{U}_\Phi^2} \right) / q + \Delta N_2, \quad (6)$$

де ΔN_2 - випадкові похибки другого аналого-цифрового перетворення (при $p=2$).

В результаті збільшення змінної p ще на одиницю (крок 18) і виконання умов вибору (кроки 6, 19) програма переходить на змінну y (крок 22). При збільшенні y на одиницю (крок 23) за сигналом мікро-ЕОМ 11 ключ 5 замикається і шунтується інвертор 4 (крок 24). На диференціальний підсилювач 6 починає діяти різниця двох однакових шумових напруг. Тому на виході диференціального підсилювача 6 будуть присутні тільки його власні шуми:

$$\dot{U}_6 = \dot{U}_H + \dot{U}_B. \quad (7)$$

В результаті аналого-цифрового перетворення напруги власних шумів диференціального підсилювача 6 тими ж елементами вимірювальної схеми (кроки 11-15) формується третій цифровий код:

$$N_3 = k_2^2 k_3^2 S \left(\overline{\dot{U}_B^2} + \overline{\dot{U}_\Phi^2} \right) / q + \Delta N_3, \quad (8)$$

де ΔN_3 - випадкові похибки третього аналого-цифрового перетворення.

По умові вибору (крок 16) код N_3 запам'ятовується в пам'яті мікро-ЕОМ 11 за ознакою j (крок 26). При виконанні умови вибору (крок 22) ключ 5 за сигналом мікро-ЕОМ знову розмикається (крок 27).

В подальшому, за умовою вибору (крок 28) програмою передбачено перехід на виконання команд за змінною i . Збільшенням змінної i на одиницю (крок 29) починаються повторні вимірювання шумових напруг і отримання усереднених значень кодів $\overline{N_1}$, $\overline{N_2}$ і $\overline{N_3}$ (крок 30).

За середніми значеннями кодів, в яких мінімі-

зовані випадкові похибки ΔN_1 , ΔN_2 і ΔN_3 , обчислюється відношення різницьових кодів (крок 31):

$$Q = \frac{\overline{N_1 - N_3}}{\overline{N_2 - N_3}} \quad (9)$$

Підставляючи в вираз (9) значення цифрових кодів (4), (6) і (8), отримуємо:

$$Q = \frac{\overline{U_X^2}}{\overline{U_0^2}} \quad (10)$$

Дисперсія теплових шумів опору імпедансного датчика 1 визначається формулою Найквіста:

$$\overline{U_X^2} = 4kT_1\Delta f \operatorname{Re} Z, \quad (11)$$

де k - постійна Больцмана;
 T_1 - термодинамічна температура імпедансного датчика 1;

Δf - смуга частот теплових флуктуацій, які виділяються смуговим фільтром 7 вимірювальної схеми;

$\operatorname{Re} Z = R_X$ - активна складова повного опору Z імпедансного датчика 1.

Дисперсія теплових шумів зразкового резистора 2 визначається його омичним опором R_0 :

$$\overline{U_0^2} = 4kT_2\Delta f R_0, \quad (12)$$

де T_2 - термодинамічна температура зразкового резистора 2.

Якщо підставити значення дисперсій (11) і (12) в вираз (10), то отримаємо:

$$Q = \frac{T_1 \operatorname{Re} Z}{T_1 R_0} = \frac{R_X T_1}{R_0 T_2}. \quad (13)$$

Зазвичай зразковий резистор 2 розміщують в тепловому контакті з імпедансним датчиком 1. Тоді при $T_1 = T_2$ маємо вираз:

$$Q = \frac{R_X}{R_0}. \quad (14)$$

Із співвідношення (14) нарешті отримуємо значення активного опору імпедансного датчика 1:

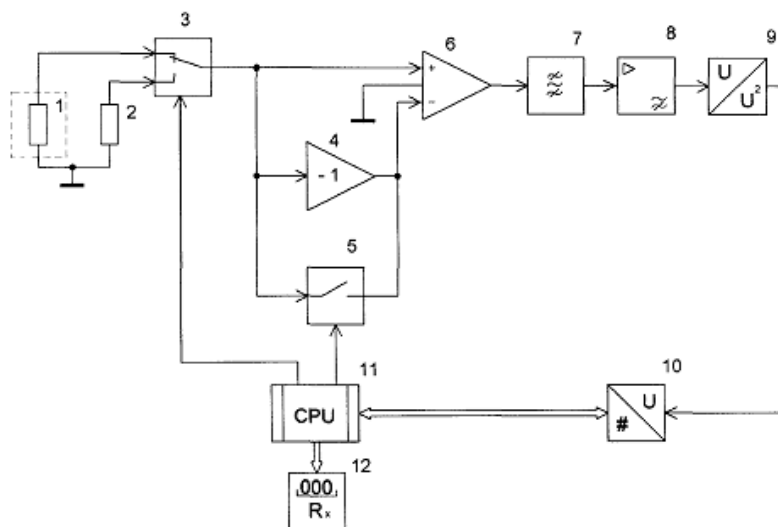
$$R_X = QR_0. \quad (15)$$

В мікро-ЕОМ 11 обчислюється за формулою (15) і виводиться на цифровий індикатор 12 значення активного опору (крок 32). При необхідності за умовою вибору (крок 33) повторюється процес вимірювання або закінчується програма.

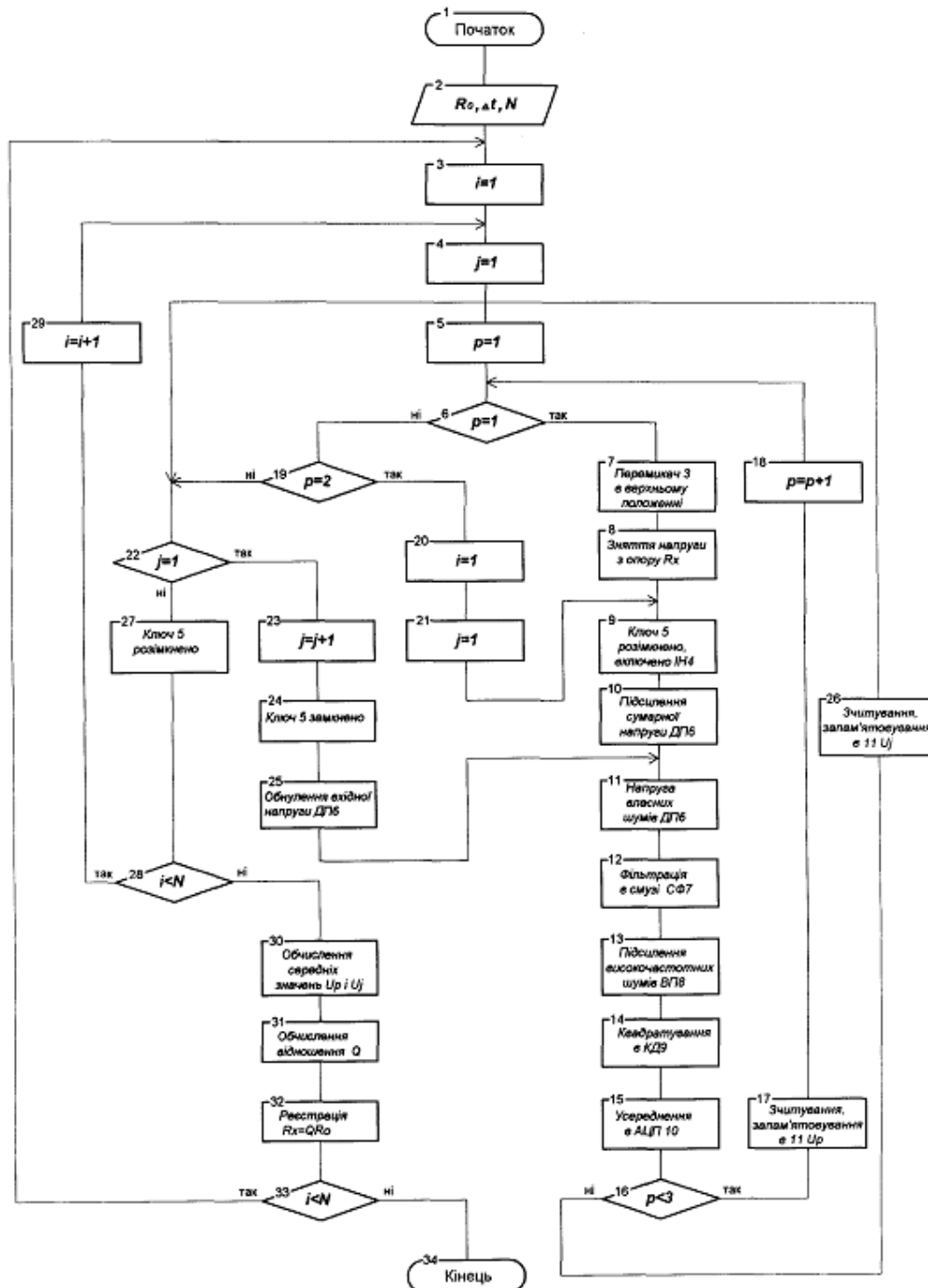
Із виразів (10) та (15) видно, що кінцевий результат вимірювання після обчислювальної обробки кодів проміжних вимірювань (N_1 , N_2 і N_3) не залежить ні від рівня власних шумів елементів вимірювальної схеми (U_H , U_B і U_Φ), ні від нестабільності коефіцієнтів перетворення елементів вимірювальної схеми (k_1 , k_2 , k_3 і S). Зазначена незалежність забезпечує високу точність вимірювання активного опору імпедансного датчика 1.

Моделювання роботи елементів термошумового вимірювача (Фіг.1) здійснювалось на персональному комп'ютері за алгоритмом програми (Фіг.2). Діапазон вимірювання активних опорів приймався від 10 кОм до 10 МОм при термодинамічній температурі 300К. Інформаційний тепловий шум, який знімався з імпедансного датчика, моделювався білим шумом в смузі частот 0,5-1МГц з спектральною густиною напруги 10^{-15} - 10^{-17} В²/Гц.

Результати моделювання підтвердили метрологічну надійність термошумового вимірювача активного опору при відношенні інформаційний шум - власні шуми вимірювача в діапазоні значень від 0,1 до 5 та відносній нестабільності коефіцієнтів перетворення елементів схеми до $\pm 30\%$. Час усереднення Δt змінювався в межах від 1 до 5с. При цьому відносна випадкова похибка вимірювання змінювалась в межах від $\pm 0,4$ до $\pm 0,01\%$ в залежності від часу усереднення шумових напруг. При збільшенні часу усереднення до хвилини випадкову похибку можливо знизити до $\pm 0,001\%$. Але при цьому суттєво зростає інерційність вимірювача. Завдяки вимірюванням активної складової повного опору кондуктометричного датчика похибка вимірювання залишкової вологості деревини понизилась в 5-7 разів.



Фіг. 1



Фіг. 2