



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **24640** (13) **U**
(51) МПК (2006)
G01R 27/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ**ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**видається під
відповідальність
власника
патенту**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРІВ ВИСОКООМНИХ ОБ'ЄКТІВ**

1

2

(21) u200701624

(22) 16.02.2007

(24) 10.07.2007

(46) 10.07.2007, Бюл. № 10, 2007 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Іванченко Олександр Васильович, Наконечний Микола Петрович, Каламєєць Тетяна Петрівна

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ(57) Пристрій для вимірювання опорів високоомних об'єктів, що містить дві вхідні клєми, диференціальний підсилювач, до виходу якого підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр, підсилювач високої частоти і квадратичний детектор, автоматичний ключ та індикатор, який **відрізняється** тим, що в пристрій додатково введені два послідовно

з'єднані постійні резистори, магазин резисторів, послідовно з'єднані інтегратор, вибіркового підсилювач низької частоти, синхронний детектор і фільтр нижніх частот, та генератор низької частоти, виходу якого з'єднані з керуючим входом синхронного детектора та входом автоматичного ключа, який включений паралельно постійним резисторам, середня точка яких з'єднана з одним входом диференціального підсилювача, другий вхід якого з'єднаний з однією із вхідних клєм, приєднаною до виходу магазину резисторів, вхід якого через постійні резистори підключений до іншої клєми, а інтегратор з'єднаний з виходом квадратичного детектора, індикатор підключений до фільтра нижніх частот.

Корисна модель відноситься до вимірювальної техніки і може бути використана для вимірювання опорів високоомних об'єктів, таких як ізоляція електроустановок, високоомні резистори і розрядники, опори каналів втрат та ізольованих шин, поверхневі та об'ємні опори діелектричних і напівпровідникових матеріалів і т. ін. за рівнем теплових шумів самих об'єктів.

Відомий пристрій для вимірювання опорів високоомних об'єктів [Патент України №14264, МПК G01R27/00, 2006р., бюл. №5], що містить диференціальний підсилювач, до виходу якого підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр, підсилювач високої частоти, квадратичний детектор та фільтр нижніх частот, а також ключ та синхронний детектор, що керуються мультівібратором, і вольтметр. Крім того, у відомій схемі напруга теплових шумів об'єкта, що досліджується, поступає на входи диференціального підсилювача безпосередньо та через інвертор, що комутується. Вольтметр вимірює дисперсію (середній квадрат) шумової напруги, яка пропорційна опорі об'єкта, що досліджується, а шкала вольтметра проградуєвана безпосередньо в одиницях опорі.

Але в відомому пристрої присутня залежність результату вимірювання вольтметром від параметрів перетворювальних ланцюгів вимірювальної

схеми та температури об'єкта, що досліджується, що не забезпечує точного результату вимірювання.

Відомий також пристрій для вимірювання опорів високоомних об'єктів [див. Скрипник Ю.О., Каламєєць Т.П. Термешумовий вимірювач активного опору імпедансних датчиків // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах - Хмельницький, 2005, №1 - с.88-91], що містить дві вхідні клєми, диференціальний підсилювач, до виходу якого підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр, підсилювач високої частоти і квадратичний детектор, автоматичний ключ та індикатор.

Крім того, пристрій містить автоматичний перемикач, що керується від мікроЕОМ, аналого-цифровий перетворювач, підключений до виходу квадратичного детектора, інвертор, що шунтується ключем, і зразковий резистор, який повинен бути в тепловому контакті з об'єктом, що досліджується.

У відомому пристрої є необхідність в зразковому високоомному резисторі, опір якого повинен бути близьким до опорі об'єкта, що досліджується. В іншому випадку при автоматичному перемиканні зразкового резистора на об'єкт, що досліджується, виникає похибка від зміни рівнів шумових напруг на порівнюваних опорах від шумового струму ди-

(13) **U**(11) **24640**(19) **UA**

ференціального підсилювача. Крім того в ряді практичних випадків важко виконати умову теплового контакту зразкового резистора з об'єктом, що досліджується, а відповідно, забезпечити рівність температур зразкового резистора і об'єкта, що досліджується. Це викликає велику температурну похибку.

В основу корисної моделі поставлена задача створити такий пристрій для вимірювання опорів високоомних об'єктів, в якому шляхом введення нових елементів і зв'язків забезпечувалось би виключення впливу температури об'єкта, що досліджується, на результат вимірювання, що підвищить точність вимірювання великих опорів різноманітних високоомних об'єктів.

Поставлена задача досягається тим, що в пристрій для вимірювання опорів високоомних об'єктів, що містить дві вхідні клеми, диференціальний підсилювач, до виходу якого підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр, підсилювач високої частоти і квадратичний детектор, автоматичний ключ та індикатор, згідно корисної моделі, в нього введені два послідовно з'єднані постійні резистори, магазин резисторів, послідовно з'єднані інтегратор, вибіркового підсилювач низької частоти, синхронний детектор і фільтр нижніх частот, та генератор низької частоти, виходи якого з'єднані з керуючим входом синхронного детектора та входом автоматичного ключа, який включений паралельно постійним резисторам, середня точка яких з'єднана з одним входом диференціального підсилювача, другий вхід якого з'єднаний з однією із вхідних клем, приєднаною до виходу магазину резисторів, вхід якого через постійні резистори підключений до іншої клеми, а інтегратор з'єднаний з виходом квадратичного детектора, індикатор підключений до фільтру нижніх частот.

Введення в схему пристрою генератора низької частоти, двох постійних резисторів, магазину резисторів, інтегратора, вибіркового підсилювача низької частоти, синхронного детектора і фільтра нижніх частот, включених вказаних чином, дозволяє здійснювати фактично два вимірювання, а саме: при розімкнутому ключі і замкнутому. Зрівнювання результатів цих двох вимірювань зміною опору магазину резисторів дозволяє отримати нульові показники індикатора на виході одноканального тракту періодичного порівняння. Завдяки цьому результат порівняння не залежить від неминучих змін параметрів тракту порівняння та рівня порівнюємих напруг. Результатом такого одноканального порівняння є отримання значення опору об'єкта, що досліджується, незалежно від дисперсії теплових шумів самого об'єкта, а значить і від його температури, що підвищує точність вимірювання великих опорів різноманітних високоомних об'єктів.

На рисунку представлена функціональна схема пристрою для вимірювання опорів високоомних об'єктів.

Пристрій містить вхідні клеми 1 і 2. Клема 2 з'єднана через послідовно з'єднані постійні резистори 3 і 4 зі входом магазину резисторів 5, який своїм виходом з'єднаний з клемою 1. Постійні резистори 3 і 4 періодично шунтуються автоматич-

ним ключем 6. Середня точка з'єднання постійних резисторів 3 і 4 з'єднана з одним із входів диференціального підсилювача 7, другий вхід якого з'єднаний зі вхідною клемою 1 пристрою. До виходу диференціального підсилювача 7 підключені з'єднані послідовно смуговий фільтр 8, підсилювач 9 високої частоти і квадратичний детектор 10. Вихід квадратичного детектора 10 з'єднаний через інтегратор 11 і вибіркового підсилювач 12 низької частоти зі входом синхронного детектора 13. Керуючий вхід синхронного детектора 13 з'єднаний з виходом генератора 14 низької частоти. До виходу синхронного детектора 13 підключений через фільтр 15 нижніх частот індикатор 16. Керуючий вхід автоматичного ключа 6 з'єднаний також з виходом генератора 14 низької частоти. Позицією 17 позначений високоомний об'єкт, що досліджується.

Пристрій працює наступним чином.

До клем 1 та 2 пристрою підключають високоомний об'єкт 17, що досліджується, який часто ізолюваний від землі. Теплові шуми, які присутні в об'єкті, що досліджується описуються формулою Найквіста:

$$\bar{U}_1^2 = 4kT\Delta fR_x, \quad (1)$$

де \bar{U}_1^2 - середній квадрат шумової напруги (дисперсія напруги);

k - постійна Больцмана;

T - термодинамічна температура об'єкта (за шкалою Кельвіна);

Δf - смуга частот, в якій виділяється тепловий шум;

R_x - опір об'єкта, що досліджується.

Знак "-" означає усереднення результату.

Із формули (1) витікає, що середнє квадратичне значення шумової напруги розімкнутого ланцюга (е.р.с.) становить:

$$\bar{U}_2 = \sqrt{4kT\Delta fR_x}, \quad (2)$$

де $R_1=R_x$ - внутрішній опір джерела е.р.с.

Під дією е.р.с. в зовнішньому ланцюгу із постійних резисторів 3, 4 і магазину опорів 5 протікає шумовий струм, середнє квадратичне значення якого дорівнює:

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}, \quad (3)$$

де R_2, R_3 і R_4 - опори відповідно постійних резисторів 3, 4 і магазину опорів 5.

При розімкнутому автоматичному ключі 6 на диференціальний підсилювач 7 діє шумова напруга з частини резисторів

$$\bar{U}_3 = \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \bar{U}_2, \quad (4)$$

Одночасно з напругою на вхід диференціального підсилювача 7 діє і напруга теплових шумів постійного резистора 4 і магазину опорів 5 (R_3 і R_4):

$$\bar{U}_4 = \sqrt{4kT\Delta f(R_3 + R_4)}, \quad (5)$$

Так як теплові шуми об'єкта 17, що досліджується не корельовані з тепловими шумами постійних резисторів 4 і 5, то результуюча напруга на

вході диференціального підсилювача 7 визначається виразом

$$\bar{U}_5 = \sqrt{\bar{U}_3^2 + \bar{U}_4^2}, \quad (6)$$

Результуюча шумова напруга U_5 проходить через смуговий фільтр 8 високих частот зі смугою пропускання Δf і підсилюється підсилювачем 9 високої частоти. З урахуванням власних шумів підсилювача 9 високої частоти підсилена шумова напруга складає:

$$\bar{U}_6 = k_1 \sqrt{\bar{U}_3^2 + \bar{U}_4^2 + \bar{U}_7^2}, \quad (7)$$

де \bar{U}_7^2 - дисперсія власних шумів підсилювача 9 високої частоти;

K_1 - коефіцієнт підсилення підсилювача 9 високої частоти. При замкнутому положенні автоматичного ключа 6, а значить при шунтуванні постійних резисторів 3 і 4 частка теплових шумів від об'єкта 17, що досліджується, поступаючи на вхід диференціального підсилювача 7, змінюється до значення:

$$\bar{U}_7 = \frac{R_4}{R_1 + R_4} \bar{U}_2, \quad (8)$$

В цьому положенні автоматичного ключа 6 частка теплових шумів постійних резисторів 4 і 5, що діють на вхід диференціального підсилювача 7, практично не змінюється. Тому підсилена шумова напруга на виході підсилювача 9 високої частоти змінюється тільки за рахунок частки теплових шумів об'єкта 17, що досліджується ($\bar{U}_3^2 \rightarrow \bar{U}_8^2$):

$$\bar{U}_9 = k \sqrt{\bar{U}_8^2 + \bar{U}_4^2 + \bar{U}_7^2}, \quad (9)$$

При автоматичній роботі ключа 6, який керується напругою генератора 14 низької частоти, на вхід квадратичного детектора 10 діє модульована шумова напруга. Ця напруга представляє собою періодичну послідовність пакетів шумових напруг U_6 і U_9 , частота проходження яких визначається низькою частотою F генератора 14 низької частоти. Так як в загальному випадку напруги U_6 і U_9 не рівні, то на виході інтегратора 11, який усереднює квадратовану шумову напругу, буде виокремлюватися низькочастотна напруга прямокутної огинаючої модульованої напруги:

$$U_{10} = S_1 k_2 \frac{\bar{U}_6^2 - \bar{U}_9^2}{2} \text{signsin} 2\pi Ft, \quad (10)$$

де S_1 - крутизна перетворення квадратичного детектора 10;

k_2 - коефіцієнт передачі інтегратора 11;

$\text{signsin} 2\pi Ft$ - прямокутна огинаюча низької частоти F .

Низькочастотна напруга U_{10} підсилюється вибірковою підсилювачем 12, налаштованим на частоту F , і випрямлюється синхронним детектором 13. В результаті згладжування випрямленої напруги фільтром 15 нижніх частот формується постійна напруга

$$U_{11} = S_2 k_3 k_4 U_9 = S_1 S_2 k_2 k_3 k_4 \frac{\bar{U}_6^2 - \bar{U}_9^2}{2}, \quad (11)$$

де S_2 - крутизна перетворення синхронного детектора 13;

k_3 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 12 низької частоти;

k_4 - коефіцієнт передачі фільтра 15 нижніх частот. Постійна напруга фіксується індикатором 16.

Змінюють опір магазину резисторів 5 до досягнення нульового значення індикатора 16. При нульовому значенні індикатора 16 згідно виразу (11) має місце рівняння:

$$\bar{U}_6^2 = \bar{U}_9^2, \quad (12)$$

Підставляючи в (12) значення U_6 із виразу (7) і значення U_9 із виразу (9), отримуємо рівняння середньоквадратичних значень напруг:

$$\bar{U}_3 = \bar{U}_8, \quad (13)$$

Якщо в рівняння (13) підставити значення \bar{U}_3 і \bar{U}_8 із (4) і (8), то нарешті отримаємо:

$$\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{R_4}{R_1 + R_4}, \quad (14)$$

Із рівняння (14) визначаємо значення опоры об'єкта 17, що досліджується:

$$R_x = R_1 = \frac{R_2}{R_3} R_4, \quad (15)$$

Таким чином, задаючи відношення опорів постійних резисторів 3 і 4 (R_2/R_3) за встановленим опором магазину резисторів 5 (R_4) визначається опір високоомного об'єкта 17, що досліджується. Так, якщо задати відношенням $R_2/R_3=10^4$ ($R_2=100\text{кОм}$, $R_3=10\text{Ом}$) і обрати магазин резисторів 5 на повний опір $R_4=100\text{кОм}$, то можливо вимірювати опори високоомного об'єкта в діапазоні значень до $R_x=10^4 \cdot 10^5 \text{Ом}=1000\text{МОм}$.

При цьому на результат вимірювання не впливає нестабільність параметрів вимірювальної схеми (k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , S_1 , S_2), рівень власних шумів магазину опорів (\bar{U}_7^2) і високочастотного підсилювача (\bar{U}_4^2).

Використання запропонованого пристрою в вимірювальній техніці дозволяє:

- визначати опір високоомних об'єктів за допомогою стандартних мір опоры з прийнятними номіналами;

- використовувати в якості джерела живлення вимірювальної схеми напруги теплових шумів самого об'єкта вимірювання без прикладення зовнішньої високовольтної напруги;

- отримати високу точність вимірювання за рахунок виключення впливу непостійності температури досліджуваного об'єкта (T), смуги виділяємих частот (F) теплового шуму, а також власних шумів елементів вимірювальної схеми;

- вимірювати опір ізоляції між декількома шинами нульового потенціалу, а також відносно загальної заземленої шини без прикладення високої напруги.

