

Винахід відноситься до області електричних вимірювань і може бути використаний для визначення опорів високоомних об'єктів шляхом порівняння з еталонним високоомним резистором при періодичних змінах структури схеми порівняння.

У практиці контролю часто виникає необхідність виміру опорів в одиниці, десятки і навіть сотню гігаом /ГОм/. Такі задачі вирішуються при роботі з датчиками різних фізичних величин - п'єзоелектричними, іонізаційними, фотоелектричними, кондуктометричними, наприклад, малих вологостей речовин, при істоті ізоляційних матеріалів, при дослідженні імпедансу біологічних об'єктів /імпедансна плетизмографія/. Прилади для виміру великих опорів найчастіше будуються на основі схем порівняння вимірюваного опору з еталонним за допомогою виміру спадання напруги на еталонному резисторі, включеному послідовно з досліджуваним об'єктом /див. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин. М.А.Гаврилюк, Е.С.Полищук, С.С.Обозовский и др. Под редакцией Е.С.Полищука.-К.: Вища шк.Главное изд-во, 1984,С.207-209/.

Оскільки опір еталонного резистора обмежено значеннями 1-10МОм, тому падіння напруги при високоомному об'єкті на еталонному резисторі виходить відносно невеликим, що потребує підсилення вимірювального сигналу. Наявність у схемі порівняння підсилювача обумовлює появу додаткових похибок, викликаних нестабільністю параметрів самого підсилювача.

Відомий пристрій для виміру опорів високоомних об'єктів /див. Грибанов Ю.И. Измерение слабых токов, зарядов и больших сопротивлений. -М.-Л.:Госэнергоиздат, 1962, С.78-79/, що містить еталонний високоомний резистор, який з досліджуваним об'єктом утворює одне плече мостової схеми, а також індикатор рівноваги моста.

Опір досліджуваного об'єкта на змінному струмі визначають за значенням опорів еталонних високоомних і низькоомних елементів. Наявність реактивної складової у високоомному об'єкті вимагає введення в мостову схему еталонних реактивних елементів, що ускладнює схему порівняння і знижує її точність.

Відомий також пристрій для виміру опорів високоомних об'єктів /див. А.С. СРСР №1174875, МПК G01R27/00, Бюл. №31, 1985/, що містить генератор іспитової напруги, автоматичний перемикач, входи якого з'єднанні з потенційним і заземленим виходами генератора іспитової напруги, дві вхідні клема для підключення досліджуваного об'єкту, одна з яких з'єднана з виходом автоматичного перемикача, друга клема з'єднана з високоомним входом підсилювача до виходу якого підключені послідовно з'єднанні амплітудний детектор, фільтр нижніх частот, та індикатор.

Крім того відомий пристрій містить третю клему, до виходу якій підключений через формувач рахункових імпульсів дільник частоти, парафазові виходи якого з'єднанні з керуючими виходами автоматичного перемикача і входами формувачів імпульсів управління. Вихід амплітудного детектора через аналого-цифровий перетворювач з'єднаний з інформаційними входами резисторів, керуючи входами яких підключені до відповідних виходів формувачів імпульсів управління, а виходи - до входам блоку ділення.

Завдяки трьом клемам підключення пристрою забезпечується висока точність виміру трьохполюсних об'єктів, переважно, коефіцієнтів передач дільників напруги. При використанні двох клем з трьох для виміру опору високоомних об'єктів з двохолюсною структурою виникає велика методична похибка завдяки нестабільності високовольтних резисторів, які підключаються послідовно до досліджуваного об'єкту. Внаслідок цього точність виміру великих опорів (більш 10МОм) об'єктів за еквівалентною двохолюсною схемою залишається низькою.

Задачею винаходу є створення такого пристрою для виміру опорів високоомних об'єктів, у якому за рахунок введення нових елементів і електричних зв'язків підвищувалася б точність виміру опорів високоомних об'єктів при еквівалентній двохолюсній схемі заміщення.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для виміру опорів високоомних об'єктів, що містить генератор іспитової напруги, автоматичний перемикач, входи якого з'єднанні з потенційним і заземленим виходами генератора іспитової напруги, дві вхідні клема для підключення досліджуваного об'єкту, одна з яких з'єднана з виходом автоматичного перемикача, друга клема з'єднана з високоомним входом підсилювача до виходу якого підключені послідовно з'єднанні амплітудний детектор, фільтр нижніх частот, та індикатор, згідно з винаходом, в нього введені еталонні високоомний та низькоомний резистори, магазин низькоомних резисторів, додатковий автоматичний перемикач, мультівібратор, вибіркового підсилювач, налагоджений на частоту переключень мультівібратора, синхронний детектор і додатковий фільтр нижніх частот, при цьому вхід підсилювача через еталонний високоомний резистор з'єднаний з потенційним виходом генератора іспитової напруги, вхід магазину низькоомних резисторів підключений до виходу фільтра нижніх частот і до одного входу додаткового автоматичного перемикача, другий вхід якого з'єднаний з потенційним кінцем еталонного низькоомного резистора, який підключений до виходу магазину низькоомних резисторів, вихід додаткового автоматичного перемикача з'єднаний із входом вибіркового підсилювача, вихід якого через синхронний детектор і додатковий фільтр нижніх частот з'єднаний з індикатором, а керуючі входи синхронного детектора з'єднані з протилежними входами мультівібратора, кожний з яких з'єднаний з керуючим входом автоматичних перемикачів.

Саме введення в схему пристрою додатково еталонних високоомних та низькоомних резисторів, магазину низькоомних резисторів, додаткового автоматичного перемикача, мультівібратора, вибіркового підсилювача, налагодженого на частоту переключень мультівібратора, синхронного детектора, додаткового фільтра нижніх частот, з'єднаних з використовуваними елементами вимірювальної схеми зазначеним чином, дозволяє збалансувати схему порівняння вимірюваного високоомного об'єкта з еталонним високоомним резистором, що працюють у ланцюгу змінної напруги, низькоомними у вигляді магазину резисторів і постійним еталонними резисторами, що працюють у ланцюгу постійної напруги, по нульовому показнику індикатора незалежно від значення вхідного опору підсилювача амплітудного детектора, що забезпечує підвищення точності виміру опорів високоомних об'єктів при еквівалентній двохолюсній схемі заміщення.

На кресленні приведена функціональна схема пристрою для виміру опорів високоомних об'єктів.

Схема пристрою містить генератор іспитової напруги 1, автоматичний перемикач 2, вхідні клема 3 і 4 для

підключення досліджуваного об'єкта, еталонний високоомний резистор 5, високоомний резистор 6 еквівалентний вхідному опору підсилювача 7, амплітудний детектор 8, фільтр нижніх частот 9, магазин низькоомних резисторів 10 і еталонний низькоомний резистор 11, додатковий автоматичний перемикач 12, вибіркового підсилювач 13, синхронний детектор 14, мультівібратор 15, додатковий фільтр нижніх частот 16 та індикатор 17.

Позицією 18 позначений досліджуваний високоомний об'єкт у вигляді еквівалентного резистора.

Потенційний і заземлений виходи генератора 1 іспитової напруги з'єднані з входами автоматичного перемикача 2, вихід якого через вхідні клеми 3 і 4 для підключення досліджуваного об'єкта 18 з'єднаний з високоомним входом підсилювача 7, до якого через еталонний високоомний резистор 5 підключений безпосередньо потенційний вихід генератора іспитової напруги 1. До виходу підсилювача 7 підключені послідовно з'єднані амплітудний детектор 8, фільтр 9 нижніх частот і еталонні низькоомні резистори 10 і 11. Входи додаткового автоматичного перемикача 12 з'єднані з виходом фільтра 9 нижніх частот і точкою з'єднання послідовно включених еталонних низькоомних резисторів 10 до 11. До виходу додаткового автоматичного перемикача 12 підключені послідовно з'єднані вибіркового підсилювач 13, налагоджений на частоту переключень мультівібратора синхронний детектор 14, додатковий фільтр 16 нижніх частот та індикатор 17. Керуючі входи синхронного детектора 14 з'єднані з протилежними виходами мультівібратора 15, кожний з яких з'єднаний з керуючими входами автоматичних перемикачів 2 і 12.

Пристрій працює таким чином.

Схема для виміру опору досліджуваного об'єкта 18 включає вхідний опір 6 підсилювача з високоомним входом 7 і автоматичний перемикач 2, з'єднаний з виходами генератора іспитової напруги 1. При зазначеному на кресленні положенні перемикача 2 вхідна клема 3 підключена до потенційного виходу генератора іспитової напруги 1. Внаслідок цього еталонний високоомний резистор 5 та досліджуваний об'єкт 18 включені паралельно і підключені до входу підсилювача 7. Резисторні елементи схеми порівняння 5, 6 і 18 утворюють дільник напруги між генератором 1 і входом підсилювача 7. Якщо позначити опір еталонного високоомного резистора 5 через R_1 , вхідний опір підсилювача 7 у вигляді опору еквівалентного високоомного резистора 6 через R_2 , а опір досліджуваного об'єкта 18 через R_x , то коефіцієнт передачі дільника напруги визначається виразом:

$$R'_1 = \frac{R_2}{R'_x + R_2}, \quad (1)$$

де R'_x - еквівалентний опір верхнього плеча дільника напруги.

Враховуючи те, що еквівалентний опір

$$R'_x = \frac{R_1 R_x}{R_1 + R_x}, \quad (2)$$

одержимо перше значення коефіцієнту передачі дільника

$$K'_1 = \frac{R_2(R_1 + R_x)}{R_1 R_x + R_1 R_2 + R_x R_2}. \quad (3)$$

Якщо у якості джерела іспитової напруги використовувати генератор 1 змінної напруги кругової частоти ω

$$U_1 = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1), \quad (4)$$

то вихідна напруга підсилювача 7 буде мати вигляд

$$U'_2 = K'_1 K_2 U_{m1} \sin(\omega t + \varphi'_2), \quad (5)$$

де K_2 - коефіцієнт підсилення підсилювача 7;

φ'_2 - фазовий зсув на виході дільника напруги.

При протилежному положенні автоматичного перемикача 2 вхідна клема 3 заземлюється та об'єкт 18 шунтується резистором, який еквівалентний вхідному опору підсилювача 7. У цьому випадку коефіцієнт передачі дільника напруги приймає значення

$$K''_1 = \frac{R_x}{R_1 + R''_x}, \quad (6)$$

де R''_x еквівалентний опір нижнього плеча дільника напруги.

Так як еквівалентний опір

$$R''_x = \frac{R_x R_2}{R_x + R_2}, \quad (7)$$

то одержимо друге значення коефіцієнта передачі дільника напруги

$$K''_1 = \frac{R_2 + R_x}{R_1 R_x + R_1 R_2 + R_x R_2}. \quad (8)$$

Відповідно, вихідна напруга підсилювача 7 стає рівним

$$U''_2 = K''_1 K_2 U_{m1} \sin(\omega t + \varphi''_2). \quad (9)$$

де φ''_2 фазовий зсув на виході дільника напруги при другому положенні автоматичного перемикача.

При автоматичній роботі перемикача 2, керованого мультівібратором 15, вихідні напруги підсилювача 7 U''_2 і U'_2 по черзі детектуються амплітудним детектором 8 і згладжуються фільтром 9 нижніх частот, до виходу якого підключені послідовно з'єднані магазин низькоомних резисторів 10 і еталонний низькоомний резистор 11. У два сусідніх такти роботи автоматичного перемикача 2 на виході фільтра 9 нижніх частот формуються

постійні напруги:

$$U'_3 = K'_1 K_2 K_3 K_4 U_{m1}, \quad (10)$$

$$U''_3 = K''_1 K_2 K_3 K_4 U_{m1}, \quad (11)$$

де K_3 - коефіцієнт передачі амплітудного детектора 8;

K_4 - коефіцієнт передачі фільтра 9 нижніх частот.

Додатковий автоматичний перемикач 12 працює синхронно, але протифазно з автоматичним перемикачем 2, оскільки вони керуються прямокутними напругами з протилежних пліч мультівібратора 15. Відповідно до зазначеної схеми підключення входів автоматичних перемикачів 2 і 12 при одному стані мультівібратора 15 на вихід автоматичного перемикача 12 проходить постійна напруга, послаблена дільником напруги з низькоомних еталонних резисторів 10 і 11:

$$U'_4 = \frac{R_4}{R_4 + R_3} U'_3 = \frac{R_4}{R_4 + R_3} K'_1 K_2 K_3 K_4 U_{m1}, \quad (12)$$

а при протилежному стані мультівібратора 15 безпосередньо постійна напруга

$$U''_4 = U''_3 = K''_1 K_2 K_3 K_4 U_{m1}, \quad (13)$$

де R_3 - сумарний опір низькоомних резисторів магазину 10;

R_4 - опір постійного низькоомного резистора 11.

При безперервній роботі перемикачів 2 і 12 з частотою переключення мультівібратора 15 на виході додаткового перемикача 12 формується послідовність імпульсів, амплітуда яких пропорційні напругам U'_4 та U''_4 . Якщо напруги U'_4 та U''_4 не рівні, то в послідовності імпульсів постійних напруг присутня змінна складова напруги частоти переключення автоматичного перемикача 2:

$$U_5 = \frac{U'_4 - U''_4}{2} \operatorname{sign} \sin \Omega t, \quad (14)$$

де Ω - кругова частота переключень мультівібратора 15;

$\operatorname{sign} \sin \Omega t$ - прямокутна напруга частоти Ω .

Частота переключень Ω вибирається в 50-100 разів менше частоти ω іспитової напруги (4), що забезпечує ефективне згладжування випрямлених напруг. Змінна напруга частоти Ω підсилюється вибіркоким підсилювачем 13, налагодженим на частоту переключень мультівібратора 15. Підсилена напруга випрямляється синхронним детектором 14, що керується безпосередньо протифазними напругами мультівібратора 15. Випрямлена напруга згладжується додатковим фільтром 16 нижніх частот і приймає вигляд

$$U_6 = K_5 K_6 K_7 \frac{U'_4 - U''_4}{2}, \quad (15)$$

де K_5 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 13;

K_6 - коефіцієнт перетворення синхронного детектора 14;

K_7 - коефіцієнт передачі додаткового фільтра 16 нижніх частот.

Напруга U_6 фіксується індикатором 17 і регулюється магазином резисторів 10. Зміною опору магазину резисторів 10 досягають нульового значення індикатора 17.

Це досягається при виконанні умови $U_6 = 0$, тобто досягнення рівноваги:

$$U'_4 = U''_4. \quad (16)$$

Якщо в рівняння (16) підставити значення U'_4 та U''_4 з виразів (12) і (13), то одержимо:

$$K''_1 = \frac{R_4}{R_4 + R_3} K'_1. \quad (17)$$

Підставляючи значення K'_1 та K''_1 з (3) і (8) у вираз (17), одержуємо:

$$R_x = \frac{R_4}{R_4 + R_3} (R_x + R_1). \quad (18)$$

Вирішив рівняння (18) відносно опору досліджуваного об'єкта R_x отримаємо розрахункову формулу:

$$R_x = \frac{R_4}{R_3} R_1. \quad (19)$$

З отриманого виразу (19) бачимо, що опір R_x високоомного об'єкта 18 визначається по еталонному високоомному резистору 5 з опором R_1 та відношенню еталонних низькоомних резисторів 10 і 11 з опором R_3 та R_4 . При цьому зрівноваження високоомної схеми порівняння досягається низькоомним змінним резистором R_3 , виконаним у вигляді магазину еталонних резисторів. На відмінність від мостових схем для зрівноважування запропонованої схеми на змінній напрузі не вимагаються регульовані еталонні реактивні

елементи / змінні конденсатори чи індуктивності/, так як зрівноважуючі елементи R_3 і R_4 працюють в ланцюзі постійної напруги. У вираз (19) не входить вхідний опір R_2 підсилювача 7. Отже в запропонованому пристрої виключене шунтуючий вплив входу підсилювача на результат виміру опору високоомного досліджуваного об'єкта. Тому можна використовувати високочутливі транзисторні підсилювачі без жорстких вимог до значення вхідного опору. На точність результату виміру не впливає також нестабільність коефіцієнта підсилення підсилювача 7 / K_2 / , коефіцієнта передачі амплітудного детектора 8 / K_3 / , фільтра нижніх частот 9 / K_4 / , вибіркового підсилювача 13 / K_5 / і т.п., тому що ці параметри не входять у розрахункову формулу (19).

Приклад. Розроблено пристрій для виміру великих опорів резистивних датчиків у діапазоні значень 0,5-20 ГОм з відносною похибкою виміру не більше $\pm 0,5\%$. Частота іспитової напруги обрана 1000Гц, а частота переключень, що задається мультівібратором, - 20Гц. В якості високоомного еталонного опору використаний мікродрововий резистор номіналом 10МОм. Зрівноважування схеми здійснюється магазином низькоомних резисторів постійного струму на сумарне значення 9999Ом, який включено послідовно з постійним дрововим резистором на 1кОм. У якості підсилювача амплітудного детектора використаний трьохкаскадний транзисторний підсилювач з коефіцієнтом підсилювання 100 з від'ємним зворотним зв'язком, що забезпечує вхідний опір підсилювача порядку 5-10МОм. Коефіцієнт підсилювання вибіркового підсилювача обраний порядку 1000 із смугою пропускання $\pm 20\%$.

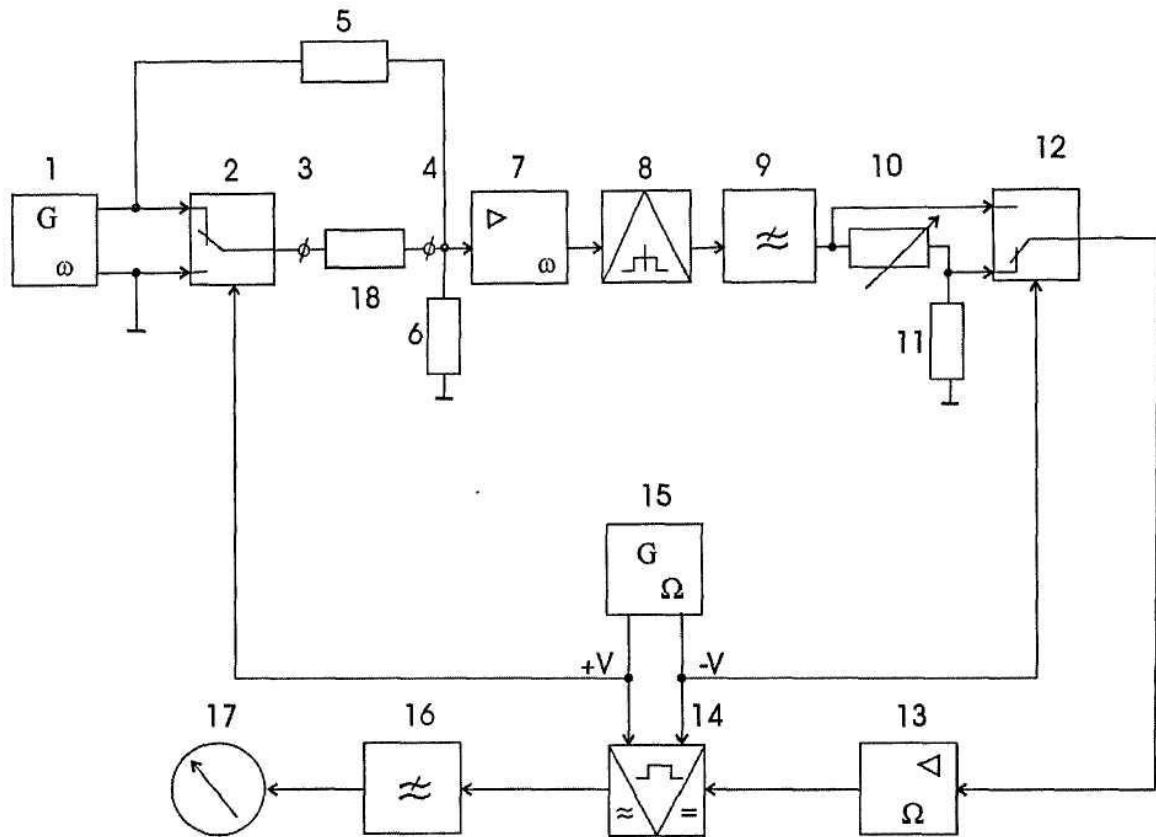


Fig.