СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1188661 A

(51)4 G 01 R 17/10

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

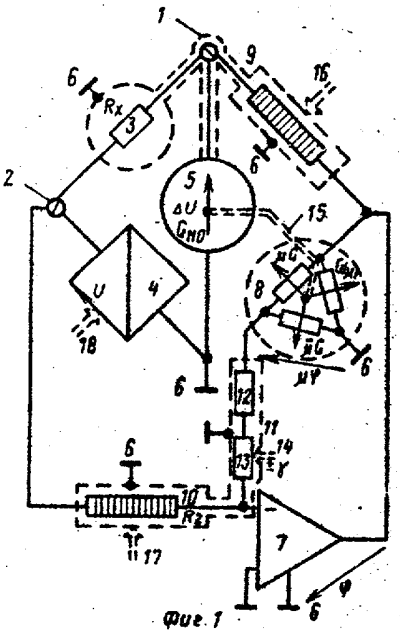
К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) 568898
(21) 3721886/24-21
(22) 05.04.84
(46) 30.10.85. Бюл. № 40

(72) А.М.Чернов
(71) Кишиневский научно-исследовательский институт электроприборостроения

(53) 621.317.733(088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР № 568898, кл. G 01 R 17/10, 1975.



Фиг. 1

(54)(57) КВАЗИМОСТОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ по авт.св. № 568898, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения точности и надежности, между выходом звездообразного резисторного делителя напряжения и входом операционного усилителя введены последовательно-соединенные постоянный по сопротивлению резистор и резистор с управляемым сопротивлением, а каждая из ступенчатых мер сопротивления выполнена в виде мультирезисторов - трансферов.

(19) SU (11) 1188661 A

Изобретение относится к средствам электроизмерительной техники, используемым в качестве прецизионных измерителей сопротивления (омметров) и проводимости (симменсметров), и является усовершенствованием известного устройства по авт. св. СССР № 568898.

Целью изобретения является повышение точности и надежности за счет компенсации погрешностей плеч относительным изменением сопротивления управляемого резистора, а также за счет применения трансферов.

На фиг.1 представлена структурная схема устройства; на фиг.2 - электрическая схема трансфера.

Устройство содержит зажимы 1 и 2 для подключения объекта измерения 3 (R_X), (G_X), регулируемый источник 4 напряжения U, нуль-орган 5 с входной проводимостью $G_{но}$ и порогом чувствительности ΔU, общую шину 6, операционный усилитель 7 с выходным напряжением φ, звездообразный резисторный делитель 8 напряжения, представляемый схемой замещения в виде треугольника проводимостей

$$\Delta\mu\, G,\ \bar{\mu}\, G,\ G(\mu), \qquad (1)$$

где $\mu = 0, X_1, .., X_н, .., X_n$ - коэффициент преобразования делителя по основному его выходу;

$\bar{\mu} = 1 - \mu$ - коэффициент преобразования делителя по дополнительному его выходу;

G - выходная проводимость звездорезисторного делителя напряжения;

G_μ - входная проводимость - шунт рабочих плеч-проводимостей μG и $\bar{\mu} G$ делителя напряжения.

Первая ступенчатая мера 9 сопротивления образует первое масштабное плечо с сопротивлением R_1; вторая ступенчатая мера 10 сопротивления образует второе масштабное плечо с сопротивлением R_2; третье масштабное плечо 11 с сопротивлением $R_3 (1 \pm \gamma) - R$ (2) образовано последовательным соединением постоянного по сопротивлению резистора 12 и резистора 13 с управляемым сопротивлением.

Устройство содержит также канал 14 управления резистором 13, канал 15 управления делителем 8 со стороны нуль-органа, канал 16 управления первой ступенчатой мерой 9, канал 17 управления второй ступенчатой мерой 10, канал 18 управления регулируемым источником 4.

Квазистовой измеритель сопротивления содержит многоконтурную измерительную цепь, составленную из перечисленных ранее составных элементов.

Первый контур измерительной цепи устройства образован последовательным соединением регулируемого источника 4, объекта измерения 3 нуль-органа 5. Второй контур измерительной цепи устройства образован последовательным соединением регулируемого источника 4, второго масштабного плеча и входа операционного усилителя 7. Третий контур измерительной цепи устройства образован соединением выхода операционного усилителя 7, первого масштабного плеча и нуль-органа 5. Четвертый контур измерительной цепи устройства образован соединением выхода операционного усилителя 7 с входом делителя 8. Пятый контур измерительной цепи устройства образован соединением выхода делителя 8 через третье масштабное плечо с входом операционного усилителя 7.

Устройство работает следующим образом.

После подключения объекта измерения 3 с сопротивлением R_X к зажимам 1 и 2 и включения источника 4 с напряжением U под действием последнего через сопротивление R_X и нуль-орган 5 с входной проводимостью $G_{но}$ начинает протекать ток первого контура

$$I_1 = U : (R_X + 1/G_{но}) \qquad (3)$$

Этот ток (3) в нуль-органе 5 вначала частично (а затем полностью) компенсируется током третьего контура

$$I_3 = \varphi : (R_1 + 1/G_{но}) \qquad (4)$$

В итоге (3) и (4) протекающий через нуль-орган 5 ток

$$I_{но} = I_1 - I_3 \neq 0 = \qquad (5)$$

может быть изменением тока I_3 доведен до нулевого (т.е) квазимост может быть уравновешен)

$$I_{но} = I_1 - I_3 = 0 \quad (6)$$

В момент равновесия, когда выполняется условие (6), падение напряжения на входе нуль-органа 5 будет

$$\Delta U \approx 0 , \quad (7)$$

вследствие чего в измерительной цепи установятся следующие соотношения характеризующих его величин

$$U = I_1 R_x \quad (8)$$

$$\varphi = I_3 R_1 . \quad (9)$$

При учете (6) и (8) и (9) следует, что

$$\frac{U}{\varphi} = \frac{R_x}{R_1}, \quad (10)$$

откуда

$$R_x = R_1 \frac{U}{\varphi} . \quad (11)$$

Отношение величин U/φ в свою очередь можно определить из равенства токов второго и четвертого контуров

$$I_2 = I_4 , \quad (12)$$

при учете, что ток второго контура

$$I_2 = U : R_2, \quad (13)$$

$$I_4 = \mu\varphi : [R_3 (1 \pm \gamma)] , \quad (14)$$

следует, что

$$U : R_2 = \mu\varphi : [R_3 (1 \pm \gamma)], \quad (15)$$

откуда

$$U : \varphi = \mu R_2 / R_3 (1 \pm \gamma) \quad (16)$$

После подстановки (16) и (11) получим условие равновесия рассматриваемой измерительной цепи

$$R_x = \mu \cdot \frac{R_1 R_2}{R_3} \frac{1}{1 \pm \gamma} . \quad (17)$$

Известно, что действительные значения сопротивлений плеч моста R_1, R_2, R_3 с номинальными значениями сопротивлений этих плеч $R_{1ном}$, $R_{2ном}$, $R_{3ном}$ связаны соотношениями

$$R_1 = R_{1ном} (1 - \delta_1) ; \quad (18)$$

$$R_2 = R_{2ном} (1 - \delta_2) ; \quad (19)$$

$$R_3 = R_{3ном} (1 - \delta_3) , \quad (20)$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – относительные погрешности соответствующих сопротивлений. После подстановки (18), (19), (20 в (17) ряда преобразований и пренебрежения членами второго порядка малости получим окончательное выражение уравнения равновесия измерительной цепи

$$R_x = \mu R_{1ном} \cdot R_{2ном} \cdot R_{3ном} (1 - \delta_1 - \delta_2 + \delta_3 \pm \gamma) \quad (21)$$

Как следует из (21), в квазимостовом измерителе сопротивления относительным изменением γ сопротивления резистора 13 можно скомпенсировать влияние погрешностей плеч R_1, R_2, R_3, т.е. установить сумму погрешностей плеч и компенсирующего их изменения, равной нулю

$$\delta_1 - \delta_2 - \delta_3 \pm \gamma = 0 \quad (22)$$

Таким образом, вследствие компенсирующего влияния γ результирующая погрешностей плеч квазимостового измерителя сопротивления может быть уменьшена до уровня погрешности внешней образцовой меры, подключаемой на время калибровки вместо R_x к зажимам 1 и 2.

Особенно эффективное устройство, если его масштабные плечи выполнить в виде мультирезисторов-трансферов (малогабаритных переходных мер сопротивления без подстроечных резисторных элементов). Например, первое и второе масштабные плечи (в отдельных случаях и третье масштабное плечо) можно реализовать одиночными резисторами, группами, резисторов (мультирезисторами и трансферами – наборами равноминальных по сопротивлению резисторов с переключающими устройствами для соединений этих резисторов) по однородным схемам а,б,в согласно фиг.2.

В данном устройстве трансферы без подстроечных резисторов впервые применяются для моделирования масштабного множителя с одним общим подстроечным элементом для одной группы трансферов. Каждый трансфер по отдельности является источником трех инвариант-сопротивлений: основного инвариант-сопротивления при структуре соединений резисторных элементов по однородной схеме согласно фиг. 2а

$$R_{u_1} = (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \ldots + 1/R_{10}) \quad (23)$$

второго инвариант-сопротивления при структуре соединений резисторных элементов по однородной схеме согласно фиг.2б

$$R_{u_2} = (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)^{-1} + (1/R_4 + 1/R_5 + 1/R_6)^{-1} + (1/R_7 + 1/R_8 + 1/R_9)^{-1}; \quad (24)$$

третьего инвариант-сопротивления при структуре соединений резисторных элементов по однородной схеме согласно фиг.2 б

$$R_{u_3} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_{10}. \quad (25)$$

Теоретические и экспериментальные исследования дали следующие результаты: наиболее вероятной систематической погрешностью 10-секционного трансфера из резисторов с допуском $\pm \delta$ будет погрешность

$$\delta_T = \delta / \sqrt{10}; \quad (26)$$

вариация погрешности трансфера при переходе $R_{u_1} \longrightarrow R_{u_2} \rightarrow R_{u_3}$ будет величиной второго порядка малости, поскольку она не более $|\delta|^2$/ (27)

Например, если 10-элементный трансфер выполнить из резисторов с погрешностью $\delta = 10^{-4}$ ($\pm$ 0,01%), то согласно (26) компенсируемая систематическая погрешность этого трансфера будет 0,003%, а ее (некомпенсируемая) вариация согласно (27) будет менее $(0,003 \times 0,01)^2 \approx 10^{-8}$ (10^{-6} %), что 0,01%:0,000001% = 10000 раз меньшая величина, чем δ - допуск по сопротивлению для резистора - элемента трансфера.

Таким образом, если плечи измерительной цепи устройства выполнить в виде трансферов, то его погрешность в целом при указанной структуре его цепи может быть скомпенсирована до уровня результирующей вариации систематических погрешностей указанных плеч, что по крайней мере в 10-100 раз меньше суммы систематических погрешностей плеч измерительной цепи прототипа и предлагаемого устройства. Отмеченное свойство предлагаемого устройства позволяет при реализации имеющихся измерительных резисторов с допуском по сопротивлению в 0,02 - 0,01% выполнить как омметр (сименсметр) класса точности намного лучше, чем 0,01%, например 0,005% или 0,002%, 0,001%.

Современные прецизионные измерительные резисторы имеют частоту отказов

$$\lambda_p \approx 10^{-6} \ldots 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \quad (28)$$

используемые совместно с измерительными резисторами подстроечные резисторы имеют частоту отказов $\lambda_{пр} \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$, (29)

вследствие чего суммарная частота отказов плеча цепи в виде последовательного соединения измерительного постоянного и регулируемого подстроечного резисторов $\lambda_p + \lambda_{пр} \approx 20 \cdot 10^{-6}$ (30)

Для уменьшения частоты отказов простейшего составного плеча цепей классических мостов-омметров и немостового омметра-прототипа приходится прибегать к двух- и даже трехкратному резервированию, т.е. использовать для реализации плеча помимо основного еще соответственно двух или трех аналоговых резервных плеч из двух резисторов (постоянного и подстроечного).

Трансфер при 10 основных и 3-х резервных постоянных резисторах обеспечивает в предлагаемом устройстве масштабирования на трех пределах измерения с такой же надежностью расход

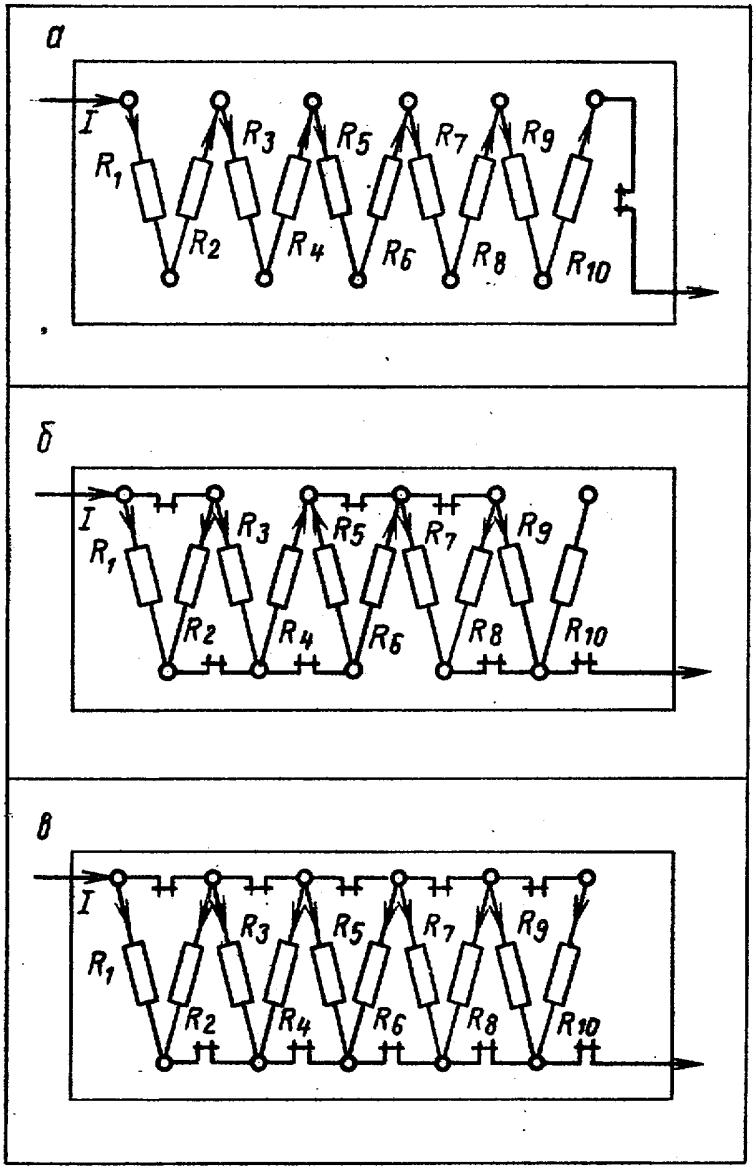
13:3 = 4(3) резистора /предел, (31)

тогда как в традиционных мостах в квазимостовом прототипе-омметре для этого расходует (2x4):10 = 0,8 резисторов/предел.

Более высокая точность и надежность устройства обеспечивается структурой измерительной цепи и реализацией плеч последней в виде мультирезисторов-трансферов.

Устройство легко превратить в квазимост-сименсметр, для чего достаточно поменять местами входы делителя 8 и второго масштабного плеча.

Полученный в результате такой перестановки (инверсии) новый инверт - квазимост - сименсметр сохраняет такое же количество по точности и надежности. Оба устройства не требуют применения дефицитных высокопрецизионных резисторов и высококачественных дорогих изоляторов, что обеспечивает экономию денежных средств и лимитируемых материалов, упрощает конструкцию и технологию описанных квазимостовых измерителей.



Фиг. 2

Составитель В.Семенчук
Редактор А.Гулько Техред А.Ач Корректор Е.Рошко

Заказ 6740/47 Тираж 747 Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4