



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 160239

(13) U

(51) МПК

G01R 15/04 (2006.01)

G01R 15/08 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2024 05704 (22) Дата подання заявки: 03.12.2024 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 21.08.2025 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 20.08.2025, Бюл.№ 34	(72) Винахідник(и): Кочан Орест Володимирович (UA), Бубела Тетяна Зіновіївна (UA), Кочан Роман Володимирович (UA), Биковий Павло Євгенович (UA), Куць Віктор Романович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA), Саченко Анатолій Олексійович (UA), Бешлей Микола Іванович (UA), Кочан Наталія Романівна (UA), Бешлей Галина Володимирівна (UA), Рудик Юрій Іванович (UA) (73) Володілець (володільці): Кочан Орест Володимирович, вул. Пулюя, 12, кв. 34, м. Львів, 79030 (UA), Бубела Тетяна Зіновіївна, вул. Кульпарківська, 141, кв. 24, м. Львів, 79030 (UA), Кочан Роман Володимирович, вул. Яворницького, 7 Б, кв. 25, м. Львів, 79054 (UA), Биковий Павло Євгенович, вул. Старий Поділ, 37, м. Тернопіль, 46008 (UA), Куць Віктор Романович, вул. Зубрівська, 17, кв. 15, м. Львів, 79066 (UA), Кочан Володимир Володимирович, вул. Наукова, 73, кв. 133, м. Львів, 79030 (UA), Саченко Анатолій Олексійович, вул. Загребельна, буд. 42, м. Тернопіль, 46027 (UA), Бешлей Микола Іванович, вул. Городоцька, 42, м. Львів, 79016 (UA), Кочан Наталія Романівна, вул. Яворницького, 7 Б, кв. 25, м. Львів, 79054 (UA), Бешлей Галина Володимирівна, вул. Городоцька, 42, м. Львів, 79016 (UA), Рудик Юрій Іванович, вул. Дунайська, 5, кв. 9, м. Львів, 79035 (UA)
---	--

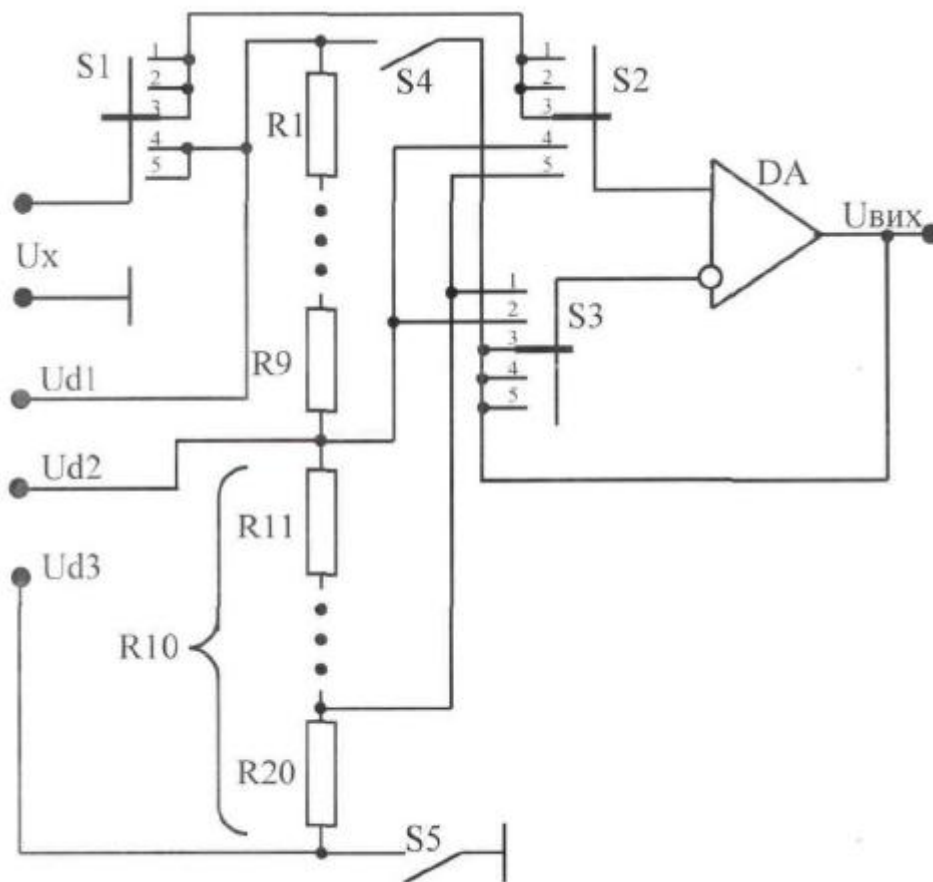
(54) МАСШТАБНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

(57) Реферат:

Масштабний перетворювач містить операційний підсилювач, перемикачі і резисторний подільник напруги, виконаний як перший набір послідовно ввімкнених резисторів одного

UA 160239 U

номіналу, кількість яких рівна відношенню між окремим діапазонами вимірювання. Резистор згаданого подільника виконано як другий набір резисторів одного номіналу, кількість яких рівна відношенню між окремим діапазонами вимірювання, а їх номінал менший за номінал резисторів першого набору у це ж відношення. Спільний контакт першого перемикача (S1) підключено до входу масштабного перетворювача, контакти 1, 2, 3 першого перемикача (S1) підключені до контактів 1, 2, 3 другого перемикача (S2), спільний контакт якого підключено до неінвертуючого входу операційного підсилювача, вихід якого підключено до контактів 3, 4, 5 третього перемикача (S3) і, через четвертий перемикач (S4) - до першого резистора першого набору резисторів, який, у свою чергу підключений до 4 і 5 контактів першого перемикача (S1). Спільний контакт третього перемикача (S3) підключено до інвертуючого входу операційного підсилювача, перший резистор другого набору резисторів підключено до контакту 4 другого перемикача (S2) та контакту 2 третього перемикача (S3), останній резистор другого набору резисторів підключено до контакту 5 другого перемикача (S2) та контакту 1 третього перемикача (S3).



Фиг. 2

Корисна модель належить до галузі вимірювальної техніки, зокрема, засобів вимірювання напруги у широкому діапазоні.

Найчастіше задача вимірювання напруги у широкому діапазоні вирішується шляхом використання ввімкнених на вході одно-діапазонних засобів вимірювання напруги масштабних перетворювачів - подільників напруги (Поліщук, Є. С. (Ред.). (1978). Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин. К.: Вища школа [1], Делитель напряжения. Материал из Википедии - свободной энциклопедии. Retrieved from <https://cutt.ly/qn1QPbW> [2], Webster, J. G. (1998). The measurement, instrumentation and sensors handbook. CRC press [3]), які використовують для вимірювання напруги вищої, ніж основний діапазон засобу вимірювання, а також підсилювачів ([3], Гутников, В. С. (1980). Интегральная электроника в измерительных устройствах. Ленинград, Энергия. Ленинградское отделение, 248 с. [4], Полонников, Д. Е. (1983). Операционные усилители. Принципы построения, теория, схемотехника. Москва: Энергоатомиздат, 216 с. [5]), які використовують для вимірювання напруги нижчої, ніж основний діапазон засобу вимірювання, тобто створення багато-діапазонних засобів вимірювання напруги.

На постійному струмі використовують майже виключно подільники напруги, що складаються із послідовно ввімкнених резисторів [1-3]. При вимірюванні високих напруг подільник напруги вмикають на вході засобів вимірювання напруги. При вимірюванні низьких напруг, на сьогодні застосовують майже виключно підсилювачі на базі операційних підсилювачів, коефіцієнт підсилення яких задано (стабілізовано) за допомогою резисторного подільника напруги, ввімкненого у коло від'ємного зворотного зв'язку операційного підсилювача [3-5]. При цьому, для забезпечення високої точності вимірювання високих і низьких напруг, для формування подільників традиційно використовують високоточні та високостабільні резистори, вартість яких доволі висока. Адже температурні та часові дрейфи цих резисторів суттєво обмежують метрологічну надійність таких засобів вимірювання напруги (що вимагає скорочення інтервалу між їх метрологічною перевіркою), а також їх метрологічну автономність - традиційно метрологічна перевірка високоточних засобів вимірювання напруги можлива і допускається лише у спеціалізованих атестованих лабораторіях при використанні еталонних засобів відповідної точності.

Однак останні досягнення вимірювальної техніки (Патент України № 97465, МПК H03M 1/10. Пристрій визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів. Кочан Р.В., Кочан О.В. Заявка а200703921. Заявл. 10.04.2007, опубл. 27.02.2012 бюл. № 4 [6], Кочан, Р. (2013). Методи та засоби метрологічної самоперевірки прецизійних аналого-цифрових перетворювачів у процесі експлуатації. (Докторська дисертація). Львів. [7], Кочан, Р. В. (2012). Прецизійні аналого-цифрові перетворювачі з бездемонтажною метрологічною самопаравіркою. Львів: Видавництво Львівської політехніки. [8], Патент України № 127840, МПК G01R 15/04, G01R 15/08. Спосіб точного визначення коефіцієнта поділу резисторного подільника напруги. Кочан О.В., Кочан Н.Р., Кочан Р.В. Заявка а202104329. Заявл. 26.07.2021, опубл. 17.01.2024 бюл. № 3. [9]) дають змогу різко підвищити метрологічну надійність та автономність засобів вимірювання напруги за рахунок способів метрологічного обслуговування, які не вимагають використання еталонного обладнання. При цьому, за рахунок можливості проводити метрологічне обслуговування на місці та в умовах експлуатації можна різко (навіть до хвилин) скоротити інтервал між процедурами метрологічного обслуговування, що відповідно знижує вимоги до температурної та часової стабільності елементів засобів вимірювання напруги. А широке розповсюдження засобів вимірювання напруги, які використовують мікроконтролери та мікроконвертори, дає змогу різко знизити вимоги до точності елементів засобів вимірювання напруги, за рахунок корекції похибок при опрацюванні результатів вимірювання.

Найближчим аналогом є "Спосіб формування резисторного подільника напруги підвищеної точності" [9], який дає змогу визначити поточний коефіцієнт поділу подільника з високою точністю за допомогою вимірювання спаду напруги на його резисторах. При цьому визначений у результаті вимірювання спаду напруги на резисторах коефіцієнт поділу подільника виходить не "круглим", тобто має дробове значення (наприклад, 9,9372 замість 10). Але при опрацюванні результатів вимірювання, наприклад, вбудованим мікроконтролером, не "кругле" значення коефіцієнта поділу просто підставляють замість "круглого". Перевага найближчого аналога [9] полягає у тому, що визначений у результаті вимірювання спаду напруги на резисторах розрахований коефіцієнт поділу подільника стає відомим з високою точністю. Його похибка визначається розрядністю та випадковою похибкою засобу вимірювання спадів напруги на резисторах подільника. Систематичні похибки засобу вимірювання спадів напруги практично не впливають на результат обчислення поточного коефіцієнта поділу подільника. Наприклад, при

вимірюванні спадів напруги дешевим цифровим тестером з роздільною здатністю 2000, похибка визначення коефіцієнта поділу подільника не буде перевищувати 0,05 %.

Недоліком найближчого аналога є обмежені можливості розширення діапазону вимірювання - лише один додатковий діапазон і лише у сторону вимірювання високих напруг.

5 В основу корисної моделі поставлено задачу створити масштабний перетворювач, який дає змогу розширити діапазон вимірювання напруги як у сторону вищих, так і у сторону нижчих значень при забезпеченні високої точності, метрологічної надійності та автономності за рахунок операцій метрологічного обслуговування, що не вимагають використання еталонного обладнання і можуть бути реалізовані вбудованими засобами у процесі експлуатації об'єкта вимірювання без його зупинки. Зокрема, пропонований масштабний перетворювач буде мати 10 змогу розширювати діапазон вимірювання базового засобу вимірювання напруги вгору, наприклад, у 10 і 100 разів і вниз у стільки ж разів. Наприклад, при використанні засобу вимірювання напруги на основі мікро-потужного аналого-цифрового перетворювача типу AD7170 (12-Bit Low Power Sigma-Delta ADC AD7170. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7170.pdf>. [10]), діапазони вимірювання напруги будуть 10 мВ, 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В.

Поставлена задача вирішується тим, що масштабний перетворювач, який містить операційний підсилювач, перемикачі і резисторний подільник напруги, виконаний як перший набір послідовно ввімкнених резисторів одного номіналу, кількість яких рівна відношенню між 20 окремими діапазонами вимірювання, згідно з корисною моделлю, останній резистор згаданого подільника виконано як другий набір резисторів одного номіналу, кількість яких рівна відношенню між окремими діапазонами вимірювання, а їх номінал менший за номінал резисторів першого набору у це ж відношення, причому спільний контакт першого перемикача (S1) підключено до входу масштабного перетворювача, контакти 1, 2, 3 першого перемикача (S1) 25 підключені до контактів 1, 2, 3 другого перемикача (S2), спільний контакт якого підключено до неінвертуючого входу операційного підсилювача, вихід якого підключено до контактів 3, 4, 5 третього перемикача (S3) і, через четвертий перемикач (S4) - до першого резистора першого набору резисторів, який, у свою чергу підключений до 4 і 5 контактів першого перемикача (S1), крім цього, спільний контакт третього перемикача (S3) підключено до інвертуючого входу операційного підсилювача, перший резистор другого набору резисторів підключено до контакту 4 другого перемикача (S2) та контакту 2 третього перемикача (S3), останній резистор другого набору резисторів підключено до контакту 5 другого перемикача (S2) та контакту 1 третього перемикача (S3).

Обидва кінці подільника напруги і точка з'єднання двох наборів його резисторів виведені на окремі контакти, при цьому нижній кінець подільника напруги підключено до спільного провідника засобу вимірювання напруги через п'ятий перемикач (S5).

Суть корисної моделі пояснюється графічними зображеннями, де:

на фіг. 1 зображено масштабний перетворювач, де:

1. DA - операційний підсилювач;
- 40 2. R1...R10 - перший набір резисторів (але резистор R10 виконано як другий набір резисторів R11...R19);
3. R11...R19 - другий набір резисторів;
4. S1...S3 - три перемикачі, що керуються синхронно (наприклад, розміщені на одній осі або входять у склад трьох реле, що мають по три групи контактів кожне) та двох незалежних вимикачів (або двох реле, що мають один замикаючий контакт);
- 45 5. U_x - контакти, до яких підключаються вхідні кола;
6. U_{bhx} - контакти, до яких підключаються вихідні кола;
7. U_{d1}, U_{d2}, U_{d3} - контакти підключення зовнішнього джерела напруги при визначенні коефіцієнта поділу подільника.

50 Положення перемикачів:

- 1 - діапазон 0,01 В (S4 замкнутий);
- 2 - діапазон 0,1 В (S4 замкнутий);
- 3 - діапазон 1 В (S4 розімкнутий);
- 4 - діапазон 10 В (S4 розімкнутий);
- 55 5 - діапазон 100 В (S4 розімкнутий).

Зовнішнє джерело напруги не мусить бути еталонним, воно вносить похибку лише за рахунок зміни вихідної напруги за час визначення коефіцієнтів поділу напруги першим і другим наборами резисторів (R1...R10 і R11...R20).

60 На фіг. 1 пропонована корисна модель масштабного перетворювача показана при роботі лише у режимі вимірювання. При цьому вимикач S5 замкнутий, а тому умовно не показаний.

Масштабний перетворювач працює наступним чином.

При коефіцієнті передачі масштабного перетворювача рівному одиниці (перший, другий і третій перемикачі у положенні 3) подільник напруги участі у роботі схеми не бере. Вимірювана напруга, за допомогою першого і другого перемикачів, поступає прямо на неінвертуючий вхід операційного підсилювача, вихід якого за допомогою третього перемикача, підключений до його інвертуючого входу. Операційний підсилювач у цьому випадку працює у режимі повторювача напруги з великим вхідним опором.

Коли масштабний перетворювач працює у режимі підсилювача (перший, другий і третій перемикачі у положеннях 1 або 2), вимірювана напруга, за допомогою першого і другого перемикачів, також поступає прямо на неінвертуючий вхід операційного підсилювача. Вхід подільника напруги, за допомогою четвертого перемикача, підключається до виходу операційного підсилювача. Виходи подільника, за допомогою третього перемикача, підключаються до інвертуючого входу операційного підсилювача. Таким чином, операційний підсилювач працює у режимі підсилювача напруги (наприклад, у 10 або 100 разів) з великим вхідним опором, а коефіцієнт передачі масштабного перетворювача буде рівним коефіцієнту поділу подільника напруги, тобто 10 і 100.

Коли масштабний перетворювач працює у режимі вимірювання високих напруг, вимірювана напруга, за допомогою першого перемикача поступає на вхід подільника. Поділена у, наприклад, 10 разів вхідна напруга з виходу подільника (перший, другий і третій перемикачі у положенні 4), через другий перемикач поступає на неінвертуючий вхід операційного підсилювача, вихід якого за допомогою третього перемикача, підключений до його інвертуючого входу (він працює у режимі повторювача напруги з великим вхідним опором). Якщо перший, другий і третій перемикачі у положенні 5, то вхідна напруга ділиться у, наприклад, 100 разів - на неінвертуючий вхід операційного підсилювача поступає спад напруги на резисторі R20.

Для визначення точного коефіцієнта поділу подільника (і тим самим коефіцієнта передачі масштабного перетворювача) за допомогою вимірювання спаду напруги на його резисторах (як це робиться у прототипі [9]), подільник сформовано як набір послідовно ввімкнених резисторів одного номінального опору, кількість яких рівна потрібному першому коефіцієнту поділу (у нашому випадку 10 резисторів). Однак, для реалізації другого коефіцієнта поділу (у нашому випадку 100) останній резистор набору виконаний як окремий набір послідовно ввімкнених резисторів одного номінального опору, причому номінальний опір резисторів другого набору менший за номінальний опір резисторів першого набору у відношення другого і першого коефіцієнтів поділу разів (у нашому випадку у 10 разів). Кількість резисторів другого набору рівна відношенню другого і першого коефіцієнтів поділу (у нашому випадку 10 резисторів).

Таким чином, запропонована корисна модель масштабного перетворювача, при мінімальній кількості елементів, що впливають на похибку вимірювання, забезпечує розширення діапазону вимірювання як у сторону вищих, так і у сторону нижчих значень вимірюваної напруги. При цьому, за рахунок створення умов вимірювання спадів напруги на всіх резисторах подільника засобом вимірювання напруги на діапазоні, коли коефіцієнт передачі масштабного перетворювача рівний одиниці (для цього подільник напруги, за допомогою четвертого і п'ятого перемикачів, гальванічно від'єднується від схеми масштабного перетворювача, а операційний підсилювач працює у режимі повторювача напруги), при опрацюванні даних за способом [9], можна визначити точні коефіцієнти поділу подільників без використання еталонного обладнання і без зупинки експлуатації об'єкта вимірювання. Така особливість дає змогу забезпечити високу точність запропонованої корисної моделі масштабного перетворювача, його високі метрологічну надійність та автономність без використання дорогих високоточних, високостабільних та еталонних елементів і засобів, лише за рахунок метрологічного обслуговування.

Режим роботи запропонованої корисної моделі масштабного перетворювача, який передбачає не лише режим вимірювання, і режим визначення коефіцієнтів поділу подільника напруги подано на фіг. 2. Він відрізняється від поданого на фіг. 1 варіанту лише тим, що перемикачі S1, S2 і S3 знаходяться у положенні 3 (коефіцієнт передачі масштабного перетворювача рівний 1). При цьому операційний підсилювач DA перемикачами S2, S3 переводиться у режим повторювача напруги, вмикається діапазон вимірювання, при якому подільник напруги R1 ... R20 не приймає участі у роботі масштабного перетворювача (наприклад, 1 В), а перемикачі S4 і S5 відключають (гальванічно від'єднують) подільник напруги від схеми масштабного перетворювача. На подільник (контакти Ud) подається напруга дещо менша за перший номінальний коефіцієнт поділу подільника (тоді спади напруги на резисторах R1 ... R10 подільника напруги дещо менші за 1 В). Ці спади напруги вимірюють шляхом підключення кожного резистора R1 ... R10 до входу Ux. При цьому спад напруги на резисторі R10 вимірюють як на сумі резисторів R11 ... R20.

Коефіцієнт передачі масштабного перетворювача K_{CON} визначають як (Кухлинг Х. (1985). Справочник по физике: Пер. с нем. 2-е изд. - М.: Мир, 520 с. [11])

$$K_{CON} = \frac{U_{OUT}}{U_{IN}}, (1)$$

де U_{OUT} - вихідна напруга масштабного перетворювача;

5 U_{IN} - вхідна напруга масштабного перетворювача.

Через те, що струм через подільник однаковий для всіх його резисторів (перший закон Кірхгофа [11]), точний перший коефіцієнт передачі подільника K_{CON}^{N1} можна визначити як [9]

$$K_{CON}^{N1} = \frac{\sum_{i=1}^{N1} U_{Ri}}{U_{RN}} = \frac{\sum_{i=1}^{N1} I \cdot R_i}{I \cdot R_N} = \frac{\sum_{i=1}^{N1} R_i}{R_N}, (2)$$

де I - струм подільника; $N1$ - кількість резисторів подільника напруги, рівна першому номінальному коефіцієнту поділу подільника напруги; U_{Ri} , R_i - спад напруги на резисторах подільника напруги та їх опір, $i = 1..N1$.

Таким чином, для номінального коефіцієнта поділу 10, точний (розрахований) коефіцієнт поділу K_{CON}^{10} можна розрахувати за результатами вимірювання спадів напруги на резисторах N_i^{R1-R10} [9]

$$K_{CON}^{10} = \frac{\sum_{i=1}^{10} N_i^{R1-R10}}{N_{R10}}. (3)$$

15 Як було показано у [9], похибка знаходження точного значення коефіцієнта поділу визначається випадковою похибкою вимірювання спадів напруги на резисторах, яка, у свою чергу, визначається похибками квантування, шумами і завадами. При сумарній випадковій похибці 1 квант для 10 розрядного засобу вимірювання, згідно із [9], отримаємо похибку точного

20 коефіцієнта поділу K_{CON}^{N1} не більше $\pm 0,1 \%$, для 12 розрядного - не більше $\pm 0,025 \%$, для 14 розрядного - не більше $\pm 0,006 \%$. Тобто визначений коефіцієнт поділу K_{CON}^{10} за результатами вимірювання буде відомим з вказаними похибками. А значення вхідної напруги при вимірюванні на другому діапазоні (положення 2 перемикачів $S1$, $S2$, $S3$) можна обчислити за формулою

$$U_{IN}^2 = \frac{N_{VYM}}{K_{CON}^{N1}}, (4)$$

25 де U_{IN}^2 - вхідна напруга при вимірюванні на другому (положення 2 перемикачів $S1$, $S2$, $S3$) діапазоні; N_{VYM} - результат вимірювання засобом вимірювання напруги.

Дійсне значення вхідної напруги при вимірюванні на четвертому (положення 4 перемикачів $S1$, $S2$, $S3$) діапазоні (наприклад, 10 В) можна обчислити за формулою

$$U_{IN}^4 = N_{VYM} \cdot K_{CON}^{N1}, (5)$$

30 де U_{IN}^4 - вхідна напруга при вимірюванні на четвертому (положення 4 перемикачів $S1$, $S2$, $S3$) діапазоні.

Для зменшення впливу похибок квантування, шумів і завад на контакти $Ud1$, $Ud3$ при визначенні точного коефіцієнта поділу за (3) слід подавати таку напругу, щоби спад напруги на кожному резисторі був дещо меншим за діапазон вимірювання засобу вимірювання напруги. У нашому випадку, при діапазоні вимірювання засобу вимірювання напруги 1 В, на контакти $Ud1$, $Ud3$ доцільно подати напругу 9 В. Тоді спади напруги на резисторах $R1 \dots R10$ будуть приблизно 0,9 В, тобто навіть при врахуванні розкиду опору резисторів не будуть перевищувати 1 В. Доцільно використати батарею "Крона", тоді завади і шуми будуть мінімальними.

40 При визначенні другого коефіцієнта поділу подільника перемикачі $S1$, $S2$ і $S3$ (див. фіг. 3), як і раніше знаходяться у положенні 3 (коефіцієнт передачі масштабного перетворювача рівний 1), операційний підсилювач DA знаходиться у режимі повторювача напруги, а подільник $R1 \dots R20$ не приймає участі у роботі масштабного перетворювача (перемикачі $S4$ і $S5$ відключають подільник від схеми масштабного перетворювача). Положення перемикачів при налаштуванні подільника: $S1$, $S2$, $S3$ - положення 3 (діапазон 1 В); $S4$, $S5$ - завжди розімкнуті. Положення перемикачів при вимірюванні: 1 - діапазон 0,01 В ($S4$ замкнутий); 2 - діапазон 0,1 В ($S4$

замкнутий); 3 - діапазон 1 В (S4 розімкнутий); 4 - діапазон 10 В (S4 розімкнутий); 5 - діапазон 100 В (S4 розімкнутий); S5 завжди замкнутий.

На подільник (контакти Ud2, Ud3) подається така напруга, при якій спад напруги на кожному з резисторів R11 ... R20 подільника напруг буде дещо меншим за максимальну вимірювану напругу засобу вимірювання при коефіцієнті передачі масштабного перетворювача рівному 1 (аналогічно як і у попередньому випадку).

За спадами напруги на R11 ... R20 визначаємо другий точний коефіцієнт передачі подільника K_{CON}^{N2}

$$K_{CON}^{N2} = \frac{\sum_{i=1}^{N2} U_{Ri}}{U_{RN}} = \frac{\sum_{i=1}^{N2} I \cdot R_i}{I \cdot R_N} = \frac{\sum_{i=1}^{N2} R_i}{R_N}, \quad (6)$$

де I - струм подільника; N2 - кількість резисторів подільника напруги, рівна відношенню другого номінального коефіцієнта поділу подільника напруги до першого; U_{Ri} , R_i - спад напруги на резисторах подільника напруги та їх опір, $i = \overline{1..N2}$; R_N - опір нижнього резистора другого набору, у нашому випадку R20.

Таким чином, для номінального коефіцієнта поділу 100, тобто при $N2 = 100/10 = 10$, точний коефіцієнт поділу K_{CON}^{100} можна розрахувати за результатами вимірювання спадів напруги на резисторах $N_i^{R11-R20}$ [9]

$$K_{CON}^{100} = \frac{\sum_{i=1}^{20} N_i^{R11-R20}}{N_{R20}}. \quad (7)$$

При цьому похибка цього коефіцієнта поділу K_{CON}^{N2} , аналогічно до K_{CON}^{N1} , для сумарної випадкової похибки засобу вимірювання, яка відповідає 10 розрядам, згідно із [9], не перевищує $\pm 0,1\%$, для 12 розрядів - не більше $\pm 0,025\%$, для 14 розрядів - не більше $\pm 0,006\%$. Тобто точний коефіцієнт поділу K_{CON}^{100} за результатами вимірювання буде відомим з вказаними похибками.

Дійсне значення вхідної напруги при вимірюванні на першому (положення 1 перемикачів S1, S2, S3) діапазоні (наприклад, 0,01 В) можна обчислити за формулою

$$U_{IN}^1 = \frac{N_{VYM}}{K_{CON}^{N1} \cdot K_{CON}^{N2}}, \quad (8)$$

де U_{IN}^1 - вхідна напруга при вимірюванні на першому (положення 1 перемикачів S1, S2, S3) діапазоні.

Дійсне значення вхідної напруги при вимірюванні на п'ятому (положення 5 перемикачів S1, S2, S3) діапазоні (наприклад, 100 В) можна обчислити за формулою

$$U_{IN}^5 = N_{VYM} \cdot K_{CON}^{N1} \cdot K_{CON}^{N2}, \quad (9)$$

де U_{IN}^4 - вхідна напруга при вимірюванні на четвертому (положення 4 перемикачів S1, S2, S3) діапазоні.

Слід відзначити, що похибку вимірювання напруги $\delta_{2,4}^{Ux}$ на другому і четвертому діапазонах каналом, який використовує 12 розрядний аналого-цифровий перетворювач з похибкою вимірювання 0,1 % та пропонований масштабний перетворювач, можна оцінити як [12]

$$\delta_{2,4}^{Ux} = \sqrt{\delta_3^2 + \delta_{2,4}^2} = \sqrt{0,1_3^2 + 0,025_{2,4}^2} = 0,1031\% \approx 0,1\%, \quad (10)$$

де δ_3 - похибка вимірювання на третьому діапазоні, коли коефіцієнт передачі масштабного перетворювача рівний 1; $\delta_{2,4}$ - похибка розрахованого першого коефіцієнта передачі K_{CON}^{N1} подільника напруги.

Похибку вимірювання напруги δ_{15}^{Ux} на першому і п'ятому діапазонах каналом, який використовує 12 розрядний аналого-цифровий перетворювач з похибкою вимірювання 0,1 % та пропонований масштабний перетворювач, можна оцінити як [12]

$$\delta_{15}^{Ux} = \sqrt{\delta_3^2 + \delta_{2,4}^2 + \delta_{15}^2} = \sqrt{0,1_3^2 + 0,025_{2,4}^2 + 0,025_{15}^2} = 0,1061\% \approx 0,11\%, \quad (11)$$

де δ_{15} - похибка розрахованого другого коефіцієнта передачі K_{CON}^{N2} подільника напруги.

Як видно з (10) і (11), запропонована корисна модель масштабного перетворювача, завдяки переходу до індивідуальних значень коефіцієнта передачі, дуже незначно збільшує похибку вимірювання напруги на діапазонах вимірювання вищих і нижчих за основний. Тому вона може бути широко використана у приладах і системах вимірювання напруги різноманітного призначення. Особливо ефективним буде його застосування у засобах вимірювання, які працюють віддалено від спеціалізованих атестованих лабораторій, які використовують еталонні засоби відповідної точності, а також при разових неочікуваних вимірюваннях. У обох випадках доступ до еталонних засобів метрологічного обслуговування вимірювальних каналів у широкому діапазоні входних напруг утруднений. При використанні запропонованого масштабного перетворювача метрологічне обслуговування зовнішніми засобами зводиться до лише метрологічного обслуговування одно-діапазонного вимірювального каналу, до якого підключено вихід запропонованого масштабного перетворювача. Сам же запропонований масштабний перетворювач не вимагає високоточного обладнання.

Джерела інформації:

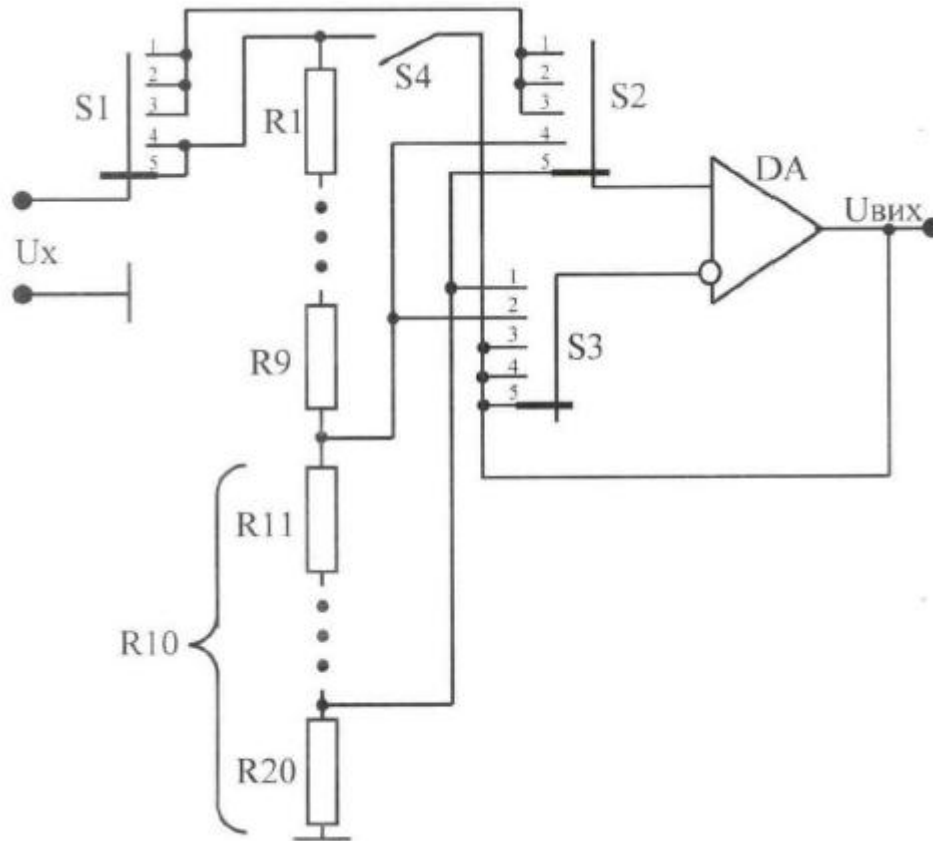
1. Поліщук, Є. С. (Ред.). (1978). Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин. К.: Вища школа.
2. Делитель напряжения. Материал из Википедии - свободной энциклопедии. Retrieved from <https://cutt.ly/qn1QPbW>.
3. Webster, J. G. (1998). The measurement, instrumentation and sensors handbook. CRC press.
4. Гутников, В. С. (1980). Интегральная электроника в измерительных устройствах. Ленинград, Энергия. Ленинградское отделение, 248 с.
5. Полонников, Д. Е. (1983). Операционные усилители. Принципы построения, теория, схемотехника. Москва: Энергоатомиздат, 216 с.
6. Пат. № 97465 Україна, МПК H03M 1/10. Пристрій визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів. Кочан Р. В., Кочан О. В. Заявка а200703921. Заявл. 10.04.2007, опубл. 27.02.2012 бюл. № 4.
7. Кочан, Р. (2013). Методи та засоби метрологічної самоперевірки прецизійних аналого-цифрових перетворювачів у процесі експлуатації. (Докторська дисертація). Львів.
8. Кочан, Р. В. (2012). Прецизійні аналого-цифрові перетворювачі з бездемонтажною метрологічною самоперевіркою. Львів: Видавництво Львівської політехніки.
9. Пат. № 127840 Україна, МПК G01R 15/04, G01R 15/08. Спосіб точного визначення коефіцієнта поділу резисторного подільника напруги. Кочан О. В., Кочан Н. Р., Кочан Р. В. Заявка а202104329. Заявл. 26.07.2021, опубл. 17.01.2024 бюл. № 3.
10. 12-Bit Low Power Sigma-Delta ADC AD7170. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7170.pdf>.
11. Кухлинг Х. (1985). Справочник по физике: Пер. с нем. 2-е изд. - М.: Мир, 520 с.
12. Поліщук, Є. С. (2003). Метрологія та вимірювальна техніка. Львів.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

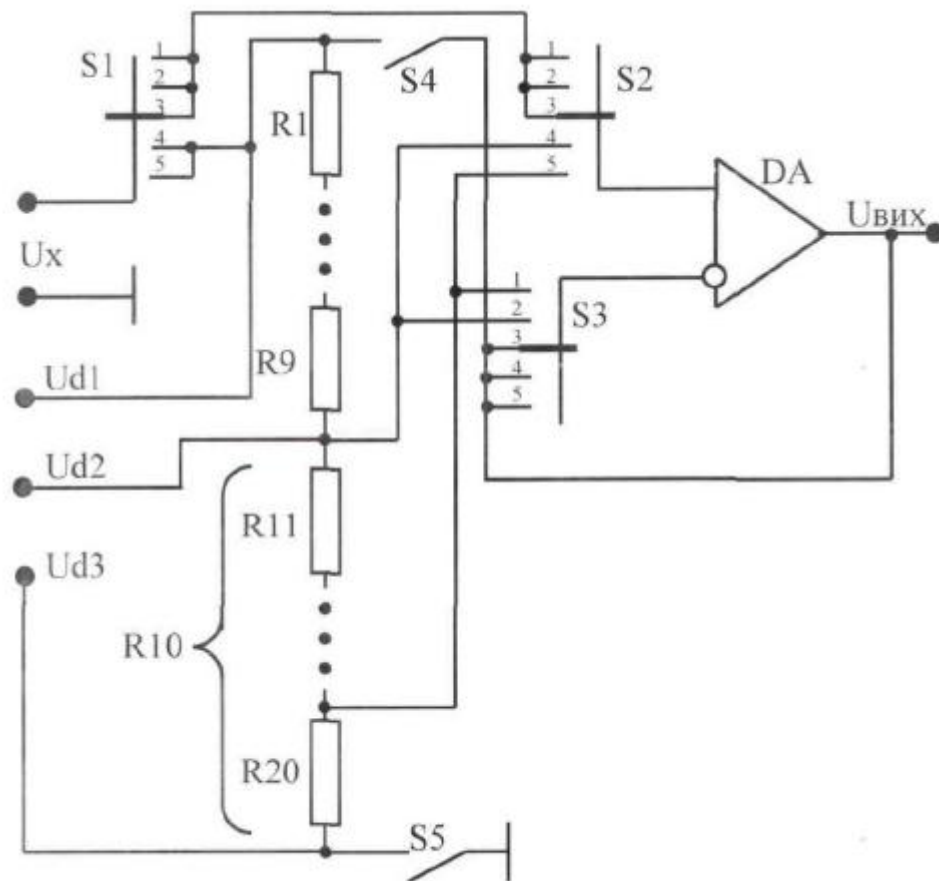
1. Масштабний перетворювач, який містить операційний підсилювач, перемикачі і резисторний подільник напруги, виконаний як перший набір послідовно ввімкнених резисторів одного номіналу, кількість яких рівна відношенню між окремим діапазонами вимірювання, який **відрізняється** тим, що останній резистор згаданого подільника виконано як другий набір резисторів одного номіналу, кількість яких рівна відношенню між окремим діапазонами вимірювання, а їх номінал менший за номінал резисторів першого набору у це ж відношення, причому спільний контакт першого перемикача (S1) підключено до входу масштабного перетворювача, контакти 1, 2, 3 першого перемикача (S1) підключені до контактів 1, 2, 3 другого перемикача (S2), спільний контакт якого підключено до неінвертуючого входу операційного підсилювача, вихід якого підключено до контактів 3, 4, 5 третього перемикача (S3) і, через четвертий перемикач (S4), - до першого резистора першого набору резисторів, який, у свою чергу, підключений до 4 і 5 контактів першого перемикача (S1), крім цього, спільний контакт третього перемикача (S3) підключено до інвертуючого входу операційного підсилювача, перший резистор другого набору резисторів підключено до контакту 4 другого перемикача (S2) та контакту 2 третього перемикача (S3), останній резистор другого набору резисторів підключено до контакту 5 другого перемикача (S2) та контакту 1 третього перемикача (S3).

2. Масштабний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що обидва кінці подільника напруги і точка з'єднання двох наборів його резисторів виведені на окремі контакти, при цьому

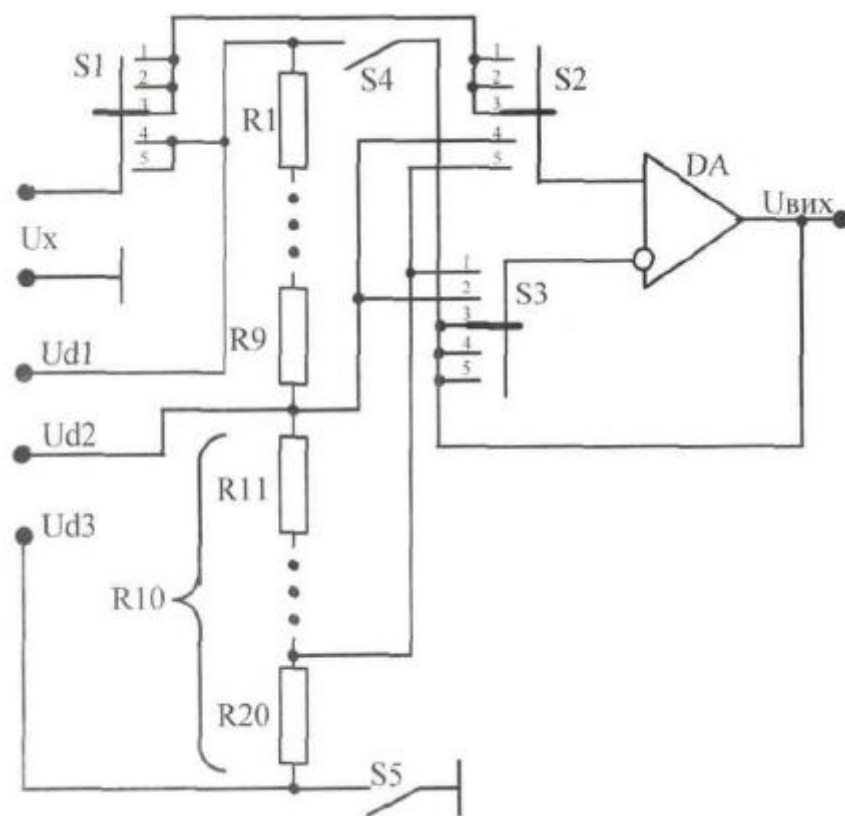
нижній кінець подільника напруги підключено до спільного провідника засобу вимірювання напруги через п'ятий перемикач (S5).



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3