

УДК 621.317.727

**О. Бойко<sup>1</sup>, О. Готра<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,<sup>2</sup>Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра інформаційно-вимірювальної техніки**МІКРОЕЛЕКТРОННА БАГАТОЗНАЧНА МІРА ОПОРУ,  
НАПРУГИ ТА СТРУМУ****О. Vojko<sup>1</sup>, O. Hotra<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University, metrology, standartization and sertification dept.<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University, Information measuring technique dept.**MULTIFUNCTIONAL CALIBRATOR OF RESISTANCE,  
VOLTAGE AND CURRENT**

© Бойко.О., Готра.О., 2001

**Описано структурну схему мікроелектронної багатозначної міри та особливості побудови окремих вузлів. Розроблені структури забезпечили подання напруги, опору, струму із зведеною похибкою не вище 0,02% на границях 10 Ом, 10 мВ, 1 мА, і 0,01% на інших границях. При цьому забезпечено дискретність відтворення опору 0,001 Ом, напруги 1 мВ, струму 0,1 мА.**

**The structural scheme of multifunction calibrator and its main design peculiarities are described in this paper. Elaborated structures provided the voltage, resistance, current with no higher than 0.02% reduced error at the limits of 10 Ohm, 10 mV, 1 mA and with 0.01% reduced error at other limits. The discreteness of reconstruction of resistance of 0.001 Ohm, voltage of 1 μV, current of 0.1 μA is provided..**

**Вступ.** На сьогодні існує проблема створення малогабаритних робочих комбінованих зразкових мір з високими метрологічними характеристиками. Розв'язання цієї проблеми можливе на основі гібридної тонкоплівкової технології, яка забезпечує створення прецизійних тонкоплівкових резисторів (високої температурної та часової стабільності при високій точності номінальних значень опору).

Проведений аналіз показав, що електричну схему комбінованої багатозначної зразкової міри електричних величин напруги, струму та опору доцільно будувати на основі активного імітатора опору [1, 2]. При цьому основні елементи активного імітатора опору використовуються повністю при роботі комбінованої міри в режимах калібратора напруги або струму. Додатковими вузлами в режимах калібратора напруги та струму є зразкове джерело напруги або струму і комутуючі елементи для вибору відповідного режиму роботи. Існуючі багатозначні міри опору, напруги та струму типу МК-4702, виконані на дискретних елементах, не забезпечують високої точності (не більше ніж 0,02 – 0,05%) при незадовільних вагових та розмірних параметрах.

У цій роботі наведено результати розробки структурних та принципівих електричних схем для створення малогабаритних переносних багатозначних мір високої точності.

**Розробка структурних електричних схем та розрахунків їх параметрів.** Для імітування сигналів терморезистивних, термоелектричних сенсорів і вимірювальних перетворювачів нами розроблено мікроелектронну комбіновану багатозначну міру напруги, струму та опору. Структурна схема міри (рис. 1) складається із перемикача режимів ПР, зразкового стабілізатора струму СС, перетворювача струм – напруга ПСН, кодокерованого подільника напруги КПН, вихідного повторювача напруги ВПН, пристрою керування ПК, індикатора нульового рівня ІНР та блока живлення БЖ.

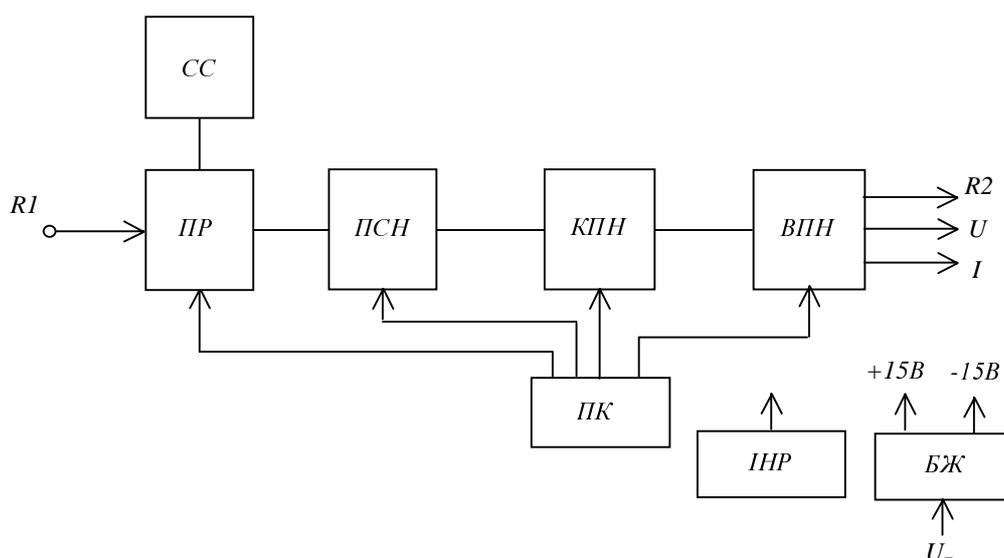


Рис.1. Структурна схема імітатора опору, калібратора напруги і струму

У режимі активного імітатора опору вхід “R<sub>1</sub>” через перемикач режимів під’єднується до входу ПСН і між точками “R<sub>1</sub>” і “R<sub>2</sub>” імітується необхідне значення опору.

На виході ПСН формується напруга U<sub>1</sub>, значення якої визначається, як

$$U_1 = I_{\text{вх}} R_{0i}, \quad (1)$$

де I<sub>вх</sub> – значення вхідного струму між входом “R<sub>1</sub>” і виходом “R<sub>2</sub>”; R<sub>0i</sub> – значення опору зразкового резистора і-го діапазону.

Вихідна напруга ПСН поступає на вхід кодокерованого подільника напруги КПН, який для багатозначних мір з ручним керуванням доцільно будувати на зразкових резисторах [3]. Для забезпечення відповідних метрологічних характеристик і вибору оптимальної кількості резисторів КПН побудований на 4-х послідовно з’єднаних резисторних двійково-десяткових матрицях R, 2R, 2R, 4R, які виготовлені за тонкоплівковою технологією. Керування кожним десятковим розрядом КПН відбувається за допомогою десятипозиційного перемикача. Для перетворення позиційного (десятькового) коду в двійково-десятьковий перемикачі мають чотири напрямки для формування сигналів окремих двійкових розрядів, які здійснюють комутацію відповідних резисторів двійково-десятькової матриці.

Коефіцієнт передачі  $\mu$  КПН залежить від вхідного коду керування і визначається виразом

$$\mu = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N a_j b \cdot 10^{-(k-1)}, \quad (2)$$

де  $a_j$  – вагове значення опору відповідного резистора двійково-десятькової матриці;  $b$  – коефіцієнт, значення якого дорівнює “0” при під’єднанні резисторів до спільної шини і “1”

при під'єднанні резисторів до виходу ПСН;  $j$  – номер резистора двійково-десятькової матриці;  $k$  – номер десяткового розряду;  $N$  – кількість двійкових розрядів;  $M$  – кількість десяткових розрядів.

Відповідно вихідна напруга КПН дорівнюватиме

$$U_2 = I_{\text{вх}} R_{0i} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N a_j b \cdot 10^{-(k-1)}. \quad (3)$$

Як бачимо, з формули (3) для різних діапазонів імітації опору необхідно вибрати різні значення опору зразкового резистора  $R_{0i}$ . При цьому максимальнодопустимий вхідний струм  $I_{\text{вх}}$  визначається значенням опору зразкового резистора і діапазоном вихідної напруги  $U_{\text{max}}$  операційного підсилювача ПСН, тобто

$$I_{\text{вхmax}} \leq \frac{U_{\text{max}}}{R_{0i}}. \quad (4)$$

Збільшення кількості діапазонів імітації опору доцільно робити за рахунок застосування додаткових подільників напруг з коефіцієнтами ділення кратними десяти, які під'єднують до виходу КПН. Додатковий коефіцієнт ділення можна також отримати за рахунок під'єднання на вихід КПН додаткового резистора. Тоді додатковий коефіцієнт ділення визначається за формулою

$$k_{\text{дiл}} = \frac{R_{\text{вх}} + R_{\text{д}}}{R_{\text{д}}}, \quad (5)$$

де  $R_{\text{вх}}$  – вихідний опір резистивної матриці;  $R_{\text{д}}$  – значення опору додаткового резистора.

Відповідно додатковий коефіцієнт передачі визначається з виразу

$$\mu_{\text{д}} = \frac{1}{k_{\text{дiл}}} = \frac{R_{\text{д}}}{R_{\text{вх}} + R_{\text{д}}}. \quad (6)$$

Отже, вихідна напруга ВПН визначається за формулою

$$U_3 = I_{\text{вх}} R_{0i} \mu_{\text{дi}} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N a_j b \cdot 10^{-(k-1)}. \quad (7)$$

Значення імітованого опору дорівнює

$$R_{\text{iм}} = R_{0i} \mu_{\text{дi}} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N a_j b \cdot 10^{-(k-1)}. \quad (8)$$

У спроектованій багатозначній мірі два старших діапазони вибирають зміною значення опору зразкового резистора  $R_{0i}$ , а два молодших діапазони – зміною додаткового коефіцієнта передачі.

При роботі комбінованої міри у режимі калібратора напруги вихідний струм стабілізатора струму СС через перемикач режимів поступає на вхід ПСН. При цьому вихідна напруга ПСН визначається з виразу

$$U_1 = I_0 R_{0i}, \quad (9)$$

де  $I_0$  – значення вихідного струму СС.

Напруга на виході ВПН дорівнює

$$U = I_0 R_{0i} \mu_{\text{дi}} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N a_j b \cdot 10^{-(k-1)}. \quad (10)$$

У режимі калібратора струму вихідний повторювач напруги працює у режимі перетворення напруга – струм і відповідно вихідний струм ВПН визначається з формули

$$I = \frac{I_0 R_{0i}}{R_{0c}} \mu_{oi} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N a_j b \cdot 10^{-(k-1)}, \quad (11)$$

де  $R_{0c}$  – зразковий резистор ВПН при роботі в режимі перетворювача струм – напруга.

Принципова схема перетворювача струм – напруга показана на рис. 2, яка побудована на операційному підсилювачі DA1 з двополярним емітерним повторювачем на транзисторах VT1, VT2. Резистори  $R_4$ ,  $R_5$  і  $R_6$  призначені для захисту операційного підсилювача і транзисторів VT1 і VT2 від перенавантажень за струмом.

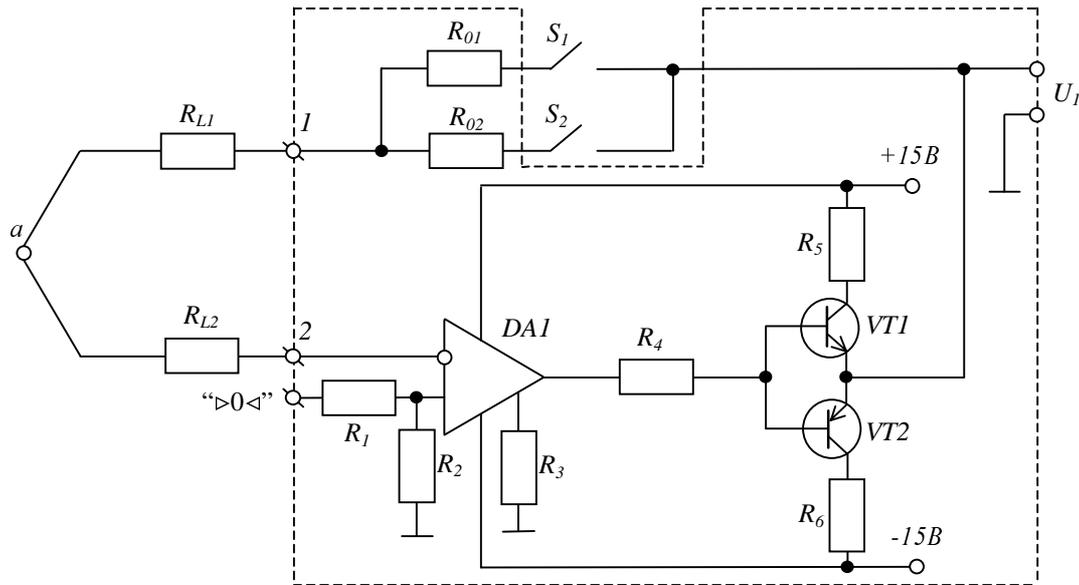


Рис. 2. Принципова схема вхідного перетворювача струм – напруга

Усі резистори виготовлені за тонкоплівковою технологією, а операційні підсилювачі і транзистори використані в безкорпусному виконанні.

Виходи 1, 2 ПСН з'єднані з точкою “а” імітації опору лініями зв'язку  $R_{L1}$  і  $R_{L2}$ . Опір лінії  $R_{L2}$  на точність передачі не впливає, оскільки він з'єднаний послідовно з великим вхідним опором операційного підсилювача DA1. Опір лінії  $R_{L1}$  з'єднаний послідовно зі зразковим резистором  $R_{0i}$  і для зменшення його впливу на точність імітації опору необхідно забезпечити умову

$$R_{0i} \gg R_{L1}.$$

Вихідний повторювач напруги ВПН призначений для передачі значення вихідної напруги КПН в точку “б”. Принципова схема ВПН, яка побудована на операційному підсилювачі DA1 з двополярним емітерним повторювачем на транзисторах VT1, VT2, показана на рис. 3.

Для зменшення впливу опору ліній зв'язку застосовано двопровідну лінію зв'язку виходів 3, 4 ВПН з точкою “б” імітації опору, оскільки  $R_{L4}$  з'єднаний послідовно з великим вхідним опором операційного підсилювача DA1, а  $R_{L3}$  увімкнений в коло зворотного зв'язку і його опір зменшується в  $k_n$  разів, де  $k_n$  – коефіцієнт підсилення DA1.

У режимі калібратора напруги зразковий сигнал напруги знімається між точками 3, 4 і спільною шиною (точка 5). Залежно від опору навантаження можна використовувати однопровідну або двопровідну лінію зв'язку. При однопровідній лінії зв'язку на приладі точки 3, 4 закорочуються.

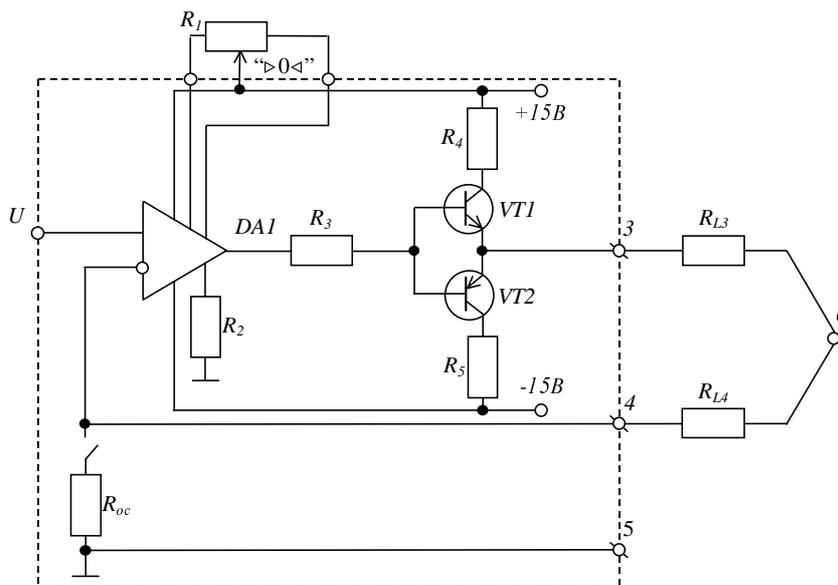


Рис. 3. Принципова схема вхідного перетворювача струм – напруга

У режимі калібровача струму резистор  $R_{0c}$  через перемикач  $S_1$  з'єднується з інвертуючим входом підсилювача DA1. При цьому опір навантаження під'єднується до точок 3, 4. Вихідний струм визначається вхідною напругою  $U$  і значенням опору зразкового резистора  $R_{0c}$ .

Індикатор нульового рівня ІНР призначений для компенсації напруги зміщення нульового рівня ПСН, ВПН і побудований на диференціальному підсилювачі зі світлодіодними індикаторами. Компенсацію напруги зміщення нульового рівня проводять у такому порядку: компенсують напругу зміщення нульового рівня диференціального підсилювача ІНР, диференціального підсилювача ПСН і диференціального підсилювача ВПН.

Блок живлення забезпечує живлення приладу від внутрішнього джерела постійної напруги зі значенням 9 В. За допомогою високочастотного перетворювача значення постійної напруги перетворюється у дві незалежні напруги +15 і –15 В.

Конструктивно багатозначна міра виконана на підкладці, яка встановлена в металоскляний корпус. Для тонкоплівкових резисторів використано сплав РС 310 з питомим поверхневим опором 1 кОм/квадрат. Резистивна плівка напилена іонно-плазмовим методом. Для провідного шару використана структура ванадій–мідь–хром. Конфігурацію резисторів отримували за допомогою фотолітографії, а стабілізацію їх параметрів проводили шляхом термічного відпалювання на повітрі при температурі 300°C упродовж двох годин. Попереднє підганяння опору резисторів проводилось методом лазерної обробки з точністю до 0,2%. Необхідну точність резисторів і коефіцієнт відношення (0,01%) досягли за допомогою функціонального підганяння.

**Висновки.** Розроблені та досліджені структури та електричні схеми багатозначних мір, наведені в роботі, забезпечили подання напруги, опору, струму із зведеною похибкою не вище 0,02% на границях 10 Ом, 10 мВ, 1 мА і 0,01% на інших границях. При цьому забезпечено дискретність відтворення опору 0,001 Ом, напруги 1  $\mu$ В, струму 0,1  $\mu$ А.

1. Бойко О.В., Столярчук П.Г., Яцук В.О. *Вимірювальна техніка та метрологія*, 1999. – №54. – С. 39–42. 2. Микийчук М.М. *Автореферат дис. канд. техн. наук.*, Львів, 1998. – 18 с. 3. Бойко О.В., Столярчук П.Г., Яцук В.О. *Вимірювальна техніка та метрологія*, 1999. – №56. – С. 78–81.