

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

В статті запропоновано метод для підвищення точності вимірювання електричного опору резисторів з малими значеннями та створення вузлів вимірювальної техніки на мікроелектронному рівні при вимірюванні неелектричних величин в технологічних процесах. Метод може бути використаний також для перевірки мір електричного опору і шунтів.

The article suggests a method to improve the accuracy of measurement of electrical resistance values of resistors with small knots and a measuring technique for microelectronic level in measuring non-electric variables in industrial processes. The method can also be used for verification measures for electrical resistance and shunt.

1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ

У зв'язку з автоматизацією технологічних процесів неухайно зростають вимоги до підвищення точності засобів вимірювання, які видають інформацію для керування. Універсальність та гнучкість мікропроцесорних пристроїв (МП) з програмним забезпеченням дозволяє досягнути високої надійності в системах автоматики та контролю. Мікропроцесорні засоби дозволяють створювати різні за складністю виконання функцій пристрої – від простіших мікроконтролерів до складних систем розподілу керування в реальному часі. Використання МП та мікро-ЕОМ в керуванні: токарними станками, зварювальними пристроями, технологічними процесами в атомних електростанціях є не можливе без підвищення точності засобів вимірювання [1, 2].

Тому створення нових методів та засобів вимірювання фізичних величин є актуальною задачею для науки та техніки.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ НАУКОВИХ ДОСЯГНЕНЬ

Електричний опір постійному струмові R є однією з найпоширеніших вимірювальних величин, причому не тільки в галузі вимірювань електричних величин, але й в інших галузях вимірювання неелектричних величин електричними засобами – вимірювання опорів термодетекторів та термісторів під час вимірювання температури, ви-

¹ Національний університет "Львівська політехніка"

мірювання опорів тензорезисторів під час визначення механічних напружень, сили, тиску, переміщень тощо, які використовуються в технологічних процесах [4, 5].

3. МЕТА РОБОТИ

Підвищення точності вимірювання електричного опору в технологічних процесах.

4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Під час вимірювання порівняно малих опорів в діапазоні $10^{-8} \dots 1$ Ом істотний вплив на результат вимірювання мають опори контактів та з'єднувальних дротів, а також контактні термо-ЕРС. Опори контактів значення, яких залежить від матеріалу, чистоти поверхні, форми наконечників з'єднувальних проводів, сили закручування затискачів тощо, можуть бути співмірними з вимірювальним опором. Для усунення впливу опору контактів застосовують чотизатискачеву схему під'єднання, а зменшення впливу контактних термо-ЕРС опір вимірюють у двох напрямках постійного струму або на змінному струмі.

Найвищу точність вимірювання малих опорів забезпечують подвійні мости [5], що використовуються в електровимірювальній техніці для перевірки мір електричного опору, шунтів, вимірювання опору резисторів з малими значенням.

Для підвищення точності вимірювання опору резистора нами запропоновано метод [6], згідно якого за допомогою подвійного шестиплечого моста постійного струму Томсона «Лорда Кельвіна» зрівноважують мостову схему по нуль-індикатору за допомогою зміни опору резисторів плеч порівняння, що рівні між собою та змінюються синхронно.

На рис.1 зображено принципову схему подвійного шестиплечого моста постійного струму Томсона «Лорда Кельвіна» для вимірювання опору резистора, а на рис.2 ця схема після зміни місцями п'ятого плеча вимірювальний резистор та шостого плеча моста, зразкова міра.

Метод реалізується наступним чином: за допомогою подвійного моста постійного струму Томсона «Лорда Кельвіна» (рис.1) вимірюємо опір плеча вимірювальний резистор R_x

$$R_x = R_N \frac{R_{\text{пор.х}}}{R_2} + \frac{R_{3r}}{r+R_3+R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} \right) = R_N \frac{R_{\text{пор.х}}}{R_2} + d, \quad (1)$$

де R_1, R_2, R_3, R_4 , відповідно, значення опору резисторів першого плеча порівняння моста 1, другого плеча моста 2, третього плеча відношень моста 3, четвертого плеча порівняння моста 4; R_N - значення

опору шостого плеча моста, зразкова міра б, г – значення опору резистора з'єднання.

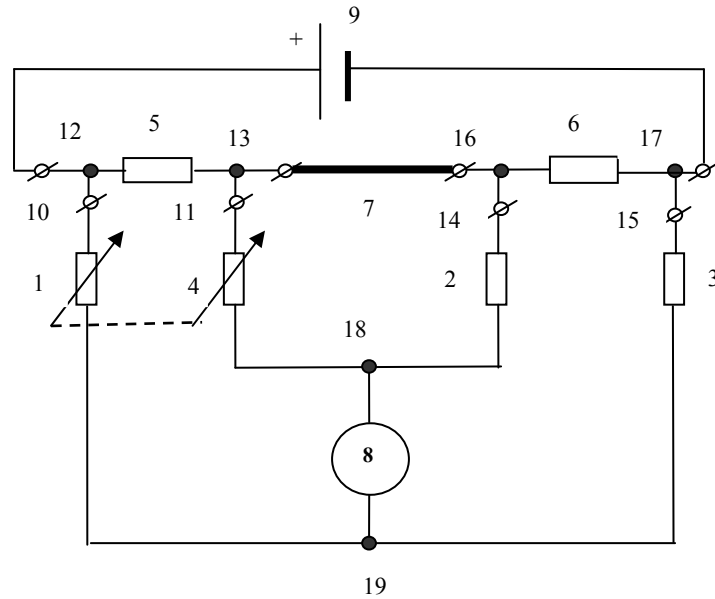


Рис. 1. Принципова схема подвійного шестиплечого моста постійного струму Томсона «Лорда Кельвіна» для вимірювання опору резистора:

- 1 - перше плече порівняння моста, 2 - друге плече моста, 3 - третє плече відношень моста, 4 - четверте плече порівняння моста, 5 - п'яте плече моста, вимірювальний резистор, 6 - шосте плече моста, зразкова міра, 7 - резистор з'єднання, 8 - нуль-індикатор, 9 - джерело живлення, 10 - перший потенціальний вивід п'ятого плеча моста, 11 - другий потенціальний вивід п'ятого плеча моста, 12 - перший потенціальний вивід п'ятого плеча моста, 13 - другий струмовий вивід п'ятого плеча моста, 14 - перший потенціальний вивід шостого плеча моста, 15 - другий потенціальний вивід шостого плеча моста, 16 - перший струмовий вивід шостого плеча моста, 17 - другий струмовий вивід шостого плеча моста, 18 - перший вивід нуль-індикатора, 19 - другий вивід нуль-індикатора

Для того щоб $d = 0$, треба забезпечити

$$\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} = 0$$

З цією метою R_1 і R_4 , також R_2 і R_3 беруть попарно рівні. Проте рівність $R_1 = R_4$ і $R_2 = R_3$ може також бути забезпечена з певною точністю, яка залежить від точності підгонки цих опорів. Тому при вимірюванні дуже малих опорів необхідно враховувати можливість впливу члена d на результат вимірювань і прийняти міри для усунення цього впливу. Вважаємо вплив члену d на результат вимірювання нехтуючи малим.

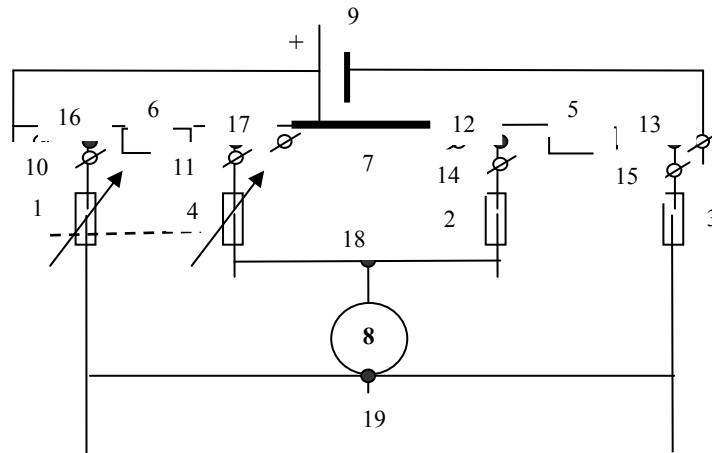


Рис. 2. Принципова схема подвійного шестиплечого моста постійного струму Томсона «Лорда Кельвіна» для вимірювання опору резистора після зміни місцями п'ятого плеча вимірювальний резистор та шостого плеча моста, зразкова міра

Похибка вимірювання при цьому буде дорівнювати

$$\delta R_x = \delta R_N + \delta R_{1\text{пор.}X} - \delta R_2 + \delta_{\text{кв.}x}, \quad (2)$$

де δR_N , $\delta R_{1\text{пор.}X}$ – відповідні похибки опорів шостого плеча моста зразкова міра 6, R_N та першого плеча порівняння 1, $R_{1\text{пор.}X}$; $\delta_{\text{кв.}x}$ – відносна похибка квантування.

На практиці дійсні значення похибок δR_N , $\delta R_{1\text{пор.}X}$, δR_2 , не завжди відомі, тому для оцінки значення похибки користуються її граничним значенням, знайденим з урахуванням граничних похибок опорів плеч.

Тоді граничне значення похибки вимірювання буде рівним

$$|\delta R_x|_{\text{гр.}} = |\delta R_N|_{\text{гр.}} + |\delta R_{1\text{пор.}X}|_{\text{гр.}} + |\delta R_2|_{\text{гр.}} + |\delta_{\text{кв.}x}|_{\text{гр.}} \quad (3)$$

Після цього помінявши плечі: п'яте плече моста 5, вимірювальний резистор R_x та шосте плече моста 6, зразкова міра R_N місцями (рис.2) за допомогою першого 1 та четвертого 4 плеч порівняння R_1 , R_4 зрівноважують по нуль-індикатору 8 мостову схему та відраховують показ

$$R_N = R_x \frac{R_{1\text{пор.}N}}{R_2} + \frac{R_{3r}}{r+R_3+R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} \right) = R_x \frac{R_{1\text{пор.}N}}{R_2} + d \quad (4)$$

Визначають значення опору R_x п'ятого плеча вимірювальний резистор 5, розв'язуючи систему з рівнянь (1), (4) і, підставивши замість R_N дійсне значення опору плеча 6 зразкова міра $R_{дN}$ отримуємо

$$\frac{R_x}{R_{дN}} = \frac{R_{дN} \cdot R_{1\text{пор.}x}}{R_{1\text{пор.}N} \cdot R_x},$$

$$R_{дN}^2 \cdot R_{1\text{пор.}x} = R_x^2 \cdot R_{1\text{пор.}N}.$$

Звідси

$$R_x = R_{дN} \cdot \sqrt{\frac{R_{1\text{пор.}x}}{R_{1\text{пор.}N}}}. \quad (5)$$

$$\delta R_x = \delta R_{дN} + \frac{1}{2} (\delta R_{1\text{пор.}x} - \delta R_{1\text{пор.}N}) + \delta_{\text{кв.}x} - \delta_{\text{кв.}N}, \quad (6)$$

де $\delta R_{дN}$, $\delta R_{1\text{пор.}x}$, $\delta R_{1\text{пор.}N}$ - відповідні похибки опорів шостого плеча 6, зразкова міра $R_{дN}$ та першого плеча порівняння 1, $R_{1\text{пор.}x}$, $\delta R_{1\text{пор.}N}$; $\delta_{\text{кв.}x}$, $\delta_{\text{кв.}N}$ - відносні похибки квантування.

Граничне значення похибки вимірювання буде рівне

$$|\delta_x|_{\text{гр.}} = |\delta R_{дN}|_{\text{гр.}} + \frac{1}{2} (|\delta R_{1\text{пор.}x}|_{\text{гр.}} + |\delta R_{1\text{пор.}N}|_{\text{гр.}}) + 2 \delta_{\text{кв.}}, \quad (7)$$

де граничне значення похибки квантування

$$\delta_{\text{кв.}=\pm} = \frac{0,5 \Delta R_{\text{п.}}}{R_{\text{п.}x}} \approx \pm \frac{0,5 \Delta R_{\text{п.}}}{R_{\text{п.}N}},$$

$\Delta R_{\text{п.}}$ - значення кроку квантування опору першого плеча порівняння моста 1 та четвертого плеча моста, порівняння 4.

Похибку квантування можна зробити нехтуючи малою за рахунок збільшення опору першого та четвертого плеч порівняння моста 1, 4, і тоді похибка вимірювання буде визначатися лише відносною похибкою шостого плеча 6, зразкова міра R_N та півсумою граничних значень відносних похибок першого плеча 1 порівняння $R_{1\text{пор.}}$, які мають однакові граничні значення. Тоді

$$|\delta_x|_{\text{гр.}} = |\delta R_{дN}|_{\text{гр.}} + |\delta R_{1\text{пор.}}|_{\text{гр.}} + 2 \cdot \delta_{\text{кв.}}, \quad (8)$$

5. ВИСНОВОК

Якщо, наприклад, для моста типу МОД-61 кл. 0,05 $R_{дН}$ відоме з граничною похибкою $\delta R_{дН} = \pm 0,001\%$, а $\delta R_{пор.} = \pm 0,01\%$, то можна отримати похибку вимірювання резистора $|\delta_x|_{гр.} = \pm 0,011\%$, що дає підвищення в точності більше ніж 2 рази. Метод також може бути використаний для створення вузлів вимірювальної техніки на мікроелектронному рівні та при вимірюванні неелектричних величин в технологічних процесах.

1. Стрепко І. Т., Тимченко О. В., Дурняк Б. В. *Проектування систем на однокристальних мікро-ЕОМ.* – К. : Фенікс, 1998. – 286с. 2. Бучма І. М. *Мікропроцесорні пристрої: Навч. посібник.* – Львів: Вид. НУ «Львівська політехніка», 2005. – 236 с. 3. Гоголюк П. Ф., Гречин Т. М. *Теорія автоматичного керування : Навч. посібник.* – Львів: Вид. НУ «Львівська політехніка», 2009. – 280 с. 4. Поліщук Є. С., Дорожовець М. М., Яцук В.О. та ін. *Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник - Львів: Вид. “Бескид Біт”, 2003. – 544с. (235с., рис. 10.1. з.).* 5. Дорожовець М., та ін. *Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2т. / Дорожовець М., В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковалик; За ред. Б. Стадника . – Львів: Вид. НУ «Львівська політехніка», 2005. – Т. 2. Вимірювальна техніка .- 656с.* 6. Патент на винахід № 82855 (Україна) МПК(2006) G 01R 27/00, G 01R 17/00. *Спосіб вимірювання електричного опору. // Степаняк М.В., 26.05. 2008, Бюл. № 10.*