

КОМПЕНСАЦІЙНИЙ МЕТОД ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ ОММЕТРІВ

© Яцук В.О., 2001

Запропоновано компенсаційний метод побудови цифрових омметрів на основі кодо-керованих мір з комутаційним інвертуванням тестової напруги. Проаналізовано метрологічні властивості багатодіапазонного цифрового омметра з автоматичною корекцією похибок.

The compensation method of digital ohmmeter design which based on the code-control measure was proposed in this paper. The function transducer analysis of wide-band ohmmeter with automation error correction was made too at this paper.

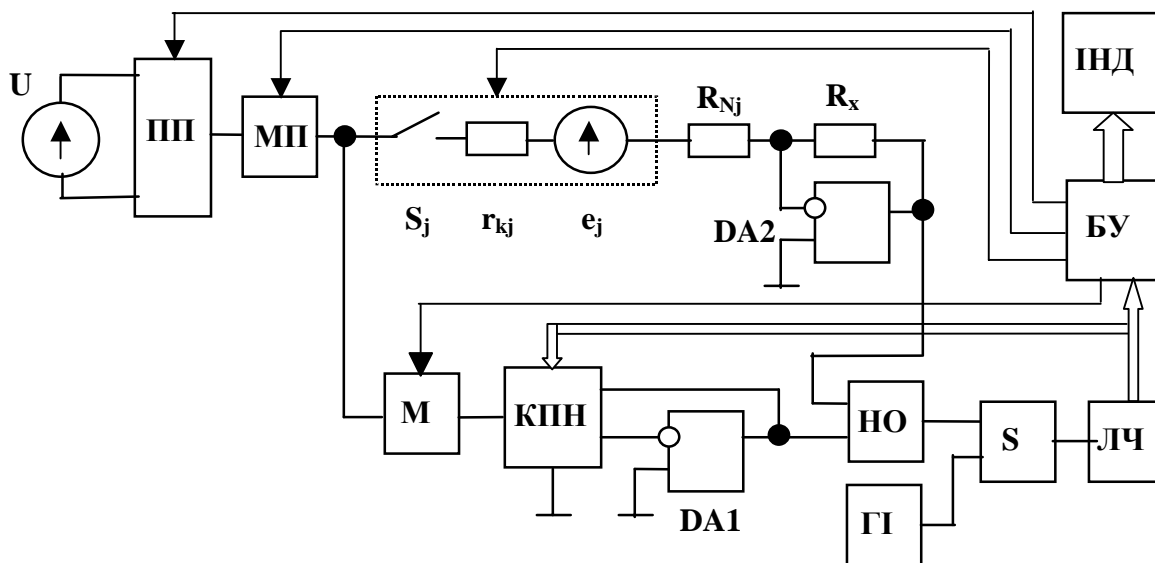
У сучасній техніці необхідно вимірювати опір в широкому діапазоні від 10^{-9} до 10^{18} Ом (від дослідження явищ надпровідності до вимірювання поверхневих та об'ємних опорів сучасних напівпровідникових та ізоляційних матеріалів). Широкий є також діапазон допустимих потужностей на досліджуваних об'єктах та дуже різноманітними – вимоги до точності вимірювань. Загальною тенденцією розвитку вимірювальної техніки є підвищення точності та автоматизація вимірювального експерименту, завдяки чому можна встановлювати нові закономірності і явища або ж виготовляти матеріали із наперед заданою і гарантованою якістю.

Проблема побудови високоомних цифрових омметрів істотно ускладнюється через вплив опорів ізоляції та значне зменшення вимірювальних струмів аж до значень некерованих зворотних струмів активних елементів схеми. Крім того, багато з високоомних об'єктів, наприклад, напівпровідникові структури, мають нелінійну вольт-амперну характеристику та не допускають проведення вимірювань при значних напругах та розсіюваних в них потужностях.

Як відомо, мостовий та компенсаційний методи є найточнішими для вимірювання опору постійному струму [1]. Точність цифрових мостів великою мірою залежить від якості та кількості використаних комутаційних елементів і на практиці їх мінімальна похибка не перевищує декількох десятих процента [2]. Для реалізації класичного компенсаційного методу вимірювань потрібні якісні перемикачі полярності вимірювальних струмів, шість зрівноважень компенсатора та оброблення результатів перетворень [1].

При побудові широкодіапазонних високоомних цифрових омметрів з перетворювачами опору в напругу використовують прецизійні вимірювальні підсилювачі, якісні комутатори вхідних аналогових кіл, лінійні і точні АЦП, керовані мікропроцесорним контролером. Однак і в цьому випадку мінімальна похибка вимірювання опору не перевищує декілька десятих процента при великій вартості приладу [3].

Принципово нові можливості побудови компенсаційних цифрових омметрів відкриває застосування в них кодо-керованих імітаторів електричного опору [4]. У поданій на рисунку структурі цифрового омметра використаний спосіб розгортувального зрівноваження, хоча всі подальші теоретичні викладки стосуються омметрів із порозрядним зрівноваженням.



Структура компенсаційного цифрового омметра

Вимірюваний опір R_x включений в коло від'ємного зворотного зв'язку інвертуючого підсилювача DA2 із струмозадавальними резисторами R_{Nj} , які перемикаються ключами S_j залежно від вибраного піддіапазону вимірювання. На масштабному подільнику М, коду-керованому подільнику (ЦАП напруги) КПН та операційному підсилювачі DA1 зібраний кодо-керований подільник компенсаційної напруги. На обидва входи нуля-органа НО подаються напруги однакової полярності з виходів підсилювачів DA1 та DA2. Доти, доки вихідна напруга підсилювача DA2 – вимірювальна напруга – менша від компенсаційної напруги (вихід підсилювача DA1), НО знаходиться у такому логічному стані, який дозволяє імпульсам від генератора ГІ проходити через ключ S на лічильник ЛЧ, вихідним кодом якого збільшується компенсаційна напруга U_k . У момент рівності вимірювальної та компенсаційної напруг спрацьовує НО, ключ S закривається і вихідний код лічильника фіксується в блоці управління приладом БУ. Після цього сигналом з БУ лічильник встановлюється в нульовий стан, а перемикач полярності сигналом з БУ перемикається в протилежний стан, що призводить до зміни на протилежні полярностей вимірювального та компенсаційного сигналів (очевидно, без зміни полярності еквівалентної адитивної складової похибки омметра) і відбувається повторне зрівноваження схеми. Код результату вимірювання БУ визначається як півсума кодів обох зрівноважень.

Перевагою наведеної на рисунку структури цифрового омметра є висока швидкодія при вимірюванні високоомних опорів, оскільки паразитні входні ємності кабелю і підсилювача знаходяться під дуже низьким потенціалом, які практично дорівнюють потенціалу спільної шини [3]. У структурі використовується тільки один електрометричний підсилювач – DA2. Для уникнення похибки від шунтування вимірюваного опору опором ізоляції доцільно використати екіпотенціальний захист [1].

Вимірювання значення опору відбувається за методом комутаційного інвертування при різних полярностях вимірювальної напруги U омметра. Піддіапазони вимірювання встановлюються перемиканням як значень масштабного підсилювача МП, так і значень струмозадавальних резисторів R_{Nj} і коефіцієнта поділу m подільника М.

При додатній полярності вимірювальної напруги U рівняння рівноваги компенсатора запишеться у такому вигляді:

$$\frac{(U + e_j) \cdot R_x}{R_{Nj} + r_{kj}} + \Delta_a - (m_j U + e_\mu) \cdot \frac{N_1}{N_k} \cdot (1 + \delta_\mu) = e_{HO}, \quad (1)$$

а при від'ємній –

$$\frac{(U - e_j) \cdot R_x}{R_{Nj} + r_{kj}} - \Delta_a - (m_j U - e_\mu) \cdot \frac{N_1}{N_k} \cdot (1 + \delta_\mu) = e_{HO}, \quad (2)$$

де U – вимірювальна напруга компенсатора; R_x – значення вимірюваного опору; R_{Nj} – опір j -го увімкненого струмозадавального резистора; r_{kj} , e_j – відповідно опір та контактна ЕРС j -го замкненого ключа S_j ; $\Delta_a = e_1 + e_2$ – еквівалентна напруга зміщення підсилювачів відповідно DA1 та DA2; m_j – коефіцієнт поділу подільника М; e_μ – еквівалентна напруга зміщення кодо-керованого подільника напруги; N_k – максимальне значення коду КПН; N_1 , N_2 – поточні значення коду, отримані при першому та другому зрівноваженнях; e_{HO} – еквівалентна напруга зміщення НО; δ_μ – відносна похибка коефіцієнта передачі КПН.

Код результату вимірювання знаходять як півсуму кодів результатів перетворень N_1 , N_2

$$N_x = \frac{N_1 + N_2}{2} = \frac{R_x}{R_{Nj} + r_{kj}} \cdot \frac{N_k}{m_j(1 + \delta_\mu)}. \quad (3)$$

Для визначення результуючої похибки вимірювання подамо кожен із параметрів формули (3) у вигляді добутку його номінального значення на суму його ж відносної похибки та одиниці і перетворимо вираз (3), обмежившись тільки лінійними складовими

$$N_x = \frac{R_x}{R_{Njn}} \cdot \frac{N_k}{m_n} \cdot \left[1 - \delta_N - \delta_m - \delta_\mu - \frac{r_{kj}}{R_{Njn}} \right], \quad (4)$$

де R_{Njn} , m_{jn} – відповідно номінальні значення струмозадавального резистора та коефіцієнта поділу подільника М; δ_N , δ_m , δ_μ – відповідно відносні похибки струмозадавального резистора, коефіцієнта поділу подільника М та коефіцієнта передачі КПН.

Аналіз результату вимірювання показує, що він не залежить від адитивних складових похибки схеми, а визначається тільки її мультиплікативною складовою. За умови, що значення похибок δ_N , δ_m , $\delta_\mu \gg r_{kj}/R_{Njn}$, а це практично просто забезпечити за допомогою герконових реле, граничне значення результуючої похибки вимірювання δ_x дорівнюватиме

$$\delta_x = -(\delta_N, \delta_m, \delta_\mu). \quad (5)$$

Враховуючи, що особливо при високоомних вимірюваних опорах на практиці порівняно просто забезпечити виконання співвідношення δ_m , $\delta_\mu = \delta_N/(3...5)$, остаточно похибка вимірювання цифровим омметром визначатиметься тільки похибкою струмозадавального резистора.

1. Електричні вимірювання електричних і неелектричних величин / Під ред. Є.С. Поліщука. К., 1978. 2. Кончаловский В.Ю. Цифровые измерительные устройства. - М., 1985. 3. Low Level Measurements. For Effective Low Current, Low Voltage, and High Impedance Measurements. - Keithley Instruments, Inc. - Cleveland, USA, 1984. 4. Яцук В. Принципи побудови кодо-керованих мір опору // Вимірювальна техніка та метрологія. 1999. №55. - С. 35-43.