

## КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТЕРМОЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ ЗАСОБАМИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМПЕДАНСУ

© Бичківський Р., Походило Є., Столярчук П., Бубела Т., 2003

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Наведено варіант побудови вимірювального засобу для контролю якості термоелектродного дроту за електричними параметрами вихорострумowego перетворювача*

*Приведено вариант построения измерительного средства для контроля качества термоэлектродной проволоки по электрическим параметрам вихретокового преобразователя*

*The possible variant of a measuring instrument construction for quality surveillance of thermoelectrode wire on electrical parameters of the vortical converter is given.*

**Вступ.** Якість первинних перетворювачів температури (термопар та терморезисторів) безпосередньо пов'язана з однорідністю термоелектродних матеріалів. Термоелектрична стабільність їх значною мірою залежить від технології виготовлення. Тому актуальним є контроль такої неоднорідності під час виготовлення термоелектродного матеріалу, що дає змогу економити матеріальні ресурси та покращувати метрологічні характеристики первинних перетворювачів температури. Це вимагає впровадження електричних методів неруйнівного контролю. Одним із них є імітансний контроль, суть якого полягає у вимірюванні електричних характеристик дроту, що відображають його термоелектричну неоднорідність. Реалізують такий метод вимірювальним засобом імітансу з використанням вихорострумowego перетворювача (індуктивного сенсора).

**Суть вихорострумowego контролю якості дроту.** Вихорострумові перетворювачі являють собою індуктивні перетворювачі, інформативними параметрами яких є індуктивність та послідовний опір. Їх необхідно розглядати як котушки індуктивності з осердями, матеріалом яких є термоелектродний дріт, або котушками індуктивності без осердя – за відсутності в магнітному полі котушки дроту.

Отже, фізичну модель такого параметричного сенсора характеризують власним комплексним опором  $\dot{Z} = j\omega L + R$  та опором аналогічного характеру, внесеним термоелектричним дротом.  $\dot{Z}_x = j\omega L_x + R_x$ . Як активна, так і реактивна складові внесеного комплексного опору відображають певні властивості дроту, а тому за їх значеннями можна робити висновки

про його структуру [5]. Порівнюючи виміряні значення складових опорів, зумовленого контрольованим дротом та його відповідним базовим зразком, можна оцінювати термоелектродний дріт на відповідність встановленим вимогам. Тобто за електричними параметрами можна контролювати якість дроту.

**Реалізація вихорострумowego методу контролю якості дроту.** Метод контролю може бути реалізований мостом змінного струму [1, 2] або засобом з прямим перетворенням імітансу в напругу [3, 4]. Обов'язковою для засобів є наявність вихорострумових первинних перетворювачів як контрольованого дроту, так і його базового зразка. Разом з тим, засіб вимірювання повинен забезпечити компенсацію або урахування початкових параметрів комплексного опору перетворювачів. У структурі засобів вимірювання з прямим перетворенням імпедансу в напругу переважно використовують вимірювальні перетворювачі “імпеданс–напруга”, виконані у вигляді пасивного подільника (пасивні) або на основі операційних підсилювачів (активні). Розглянемо варіанти побудови вимірювального засобу з прямим перетворенням імітансу в напругу. Загальна структурна схема такого вимірювального засобу (з пасивним вимірювальним перетворювачем) наведена на рис. 1.

Вимірювальний засіб містить джерело тестового сигналу ДТС, вихорострумові перетворювачі контрольованого дроту та його базового зразка, відповідно  $BC_x$  та  $BC_0$ , підсилювач П інформативного сигналу  $BC_x$ , диференційний підсилювач ДП сигналу  $BC_0$ , фазочутливі детектори ФД1–ФД4, фазоповертач ФП, амплітудний детектор АД, комутатор К, аналого-цифровий перетворювач АЦП, мікропроцесорний блок керування МБК.

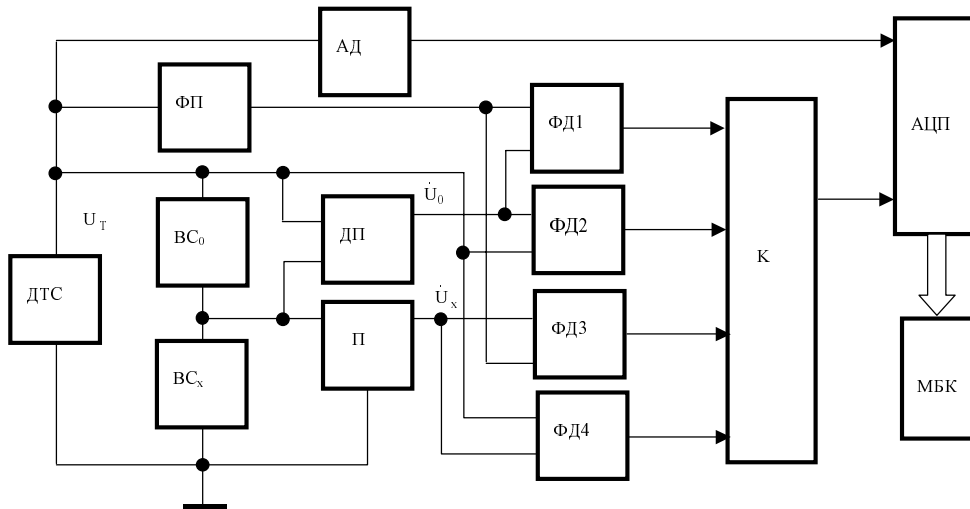


Рис. 1. Схема вимірювального засобу для контролю якості термоелектродного дроту з пасивним векторним перетворювачем

Засіб відповідно до наведеної схеми працює так.

Під дією синусоїдного сигналу  $U_T$  фіксованого рівня та частоти імпеданс  $Z_x$  контрольованого та зразкового  $Z_0$  перетворювачів перетворюється у відповідні комплексні напруги  $\dot{U}_x$  та  $\dot{U}_0$ :

$$\dot{U}_x = U_T \frac{Z_x}{Z_x + Z_0} = U_T \frac{j(\omega L_x R_0 - \omega L_0 R_x) + R_x^2 \left(1 + \frac{R_0}{R_x}\right) + \omega^2 L_x^2 \left(1 + \frac{L_0}{L_x}\right)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}. \quad (1)$$

$$\dot{U}_0 = U_T \frac{Z_0}{Z_x + Z_0} = U_T \frac{j(\omega L_0 R_x - \omega L_x R_0) + R_0^2 \left(1 + \frac{R_x}{R_0}\right) + \omega^2 L_0^2 \left(1 + \frac{L_x}{L_0}\right)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}. \quad (2)$$

За допомогою ФД1 та ФД3 з отриманих напруг (1), (2) виділяють реактивні складові  $\text{Im}(\dot{U}_0)$ ,  $\text{Im}(\dot{U}_x)$ , а за допомогою ФД2 та ФД4 – активні складові  $\text{Re}(\dot{U}_0)$ ,  $\text{Re}(\dot{U}_x)$ . Тобто

$$\text{Im}(\dot{U}_0) = U_1 = U_T k_1 \frac{(\omega L_0 R_x - \omega L_x R_0)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}; \quad (3)$$

$$\text{Im}(\dot{U}_x) = U_3 = U_T k_3 \frac{(\omega L_x R_0 - \omega L_0 R_x)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}; \quad (4)$$

$$\text{Re}(\dot{U}_0) = U_2 = U_T k_2 \frac{R_0^2 \left(1 + \frac{R_x}{R_0}\right) + \omega^2 L_0^2 \left(1 + \frac{L_x}{L_0}\right)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}. \quad (5)$$

$$\text{Re}(\dot{U}_x) = U_4 = U_T k_4 \frac{R_x^2 \left(1 + \frac{R_0}{R_x}\right) + \omega^2 L_x^2 \left(1 + \frac{L_0}{L_x}\right)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}. \quad (6)$$

де  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – коефіцієнти перетворення, відповідно, ФД1, ФД2, ФД3, ФД4.

Інтегрувальними АЦП1 та АЦП2 здійснюють по чергове (комутатором) перетворення напруг (3–6) в цифрові коди

$$N_1 = \frac{k_1}{k_5} \frac{(\omega L_0 R_x - \omega L_x R_0)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2};$$

$$N_2 = \frac{k_2}{k_5} \frac{(\omega L_x R_0 - \omega L_0 R_x)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}; \quad (7)$$

$$N_3 = \frac{k_3}{k_5} \frac{R_0^2 \left(1 + \frac{R_x}{R_0}\right) + \omega^2 L_0^2 \left(1 + \frac{L_x}{L_0}\right)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2};$$

$$N_4 = \frac{k_4}{k_5} \frac{R_x^2 \left(1 + \frac{R_0}{R_x}\right) + \omega^2 L_x^2 \left(1 + \frac{L_0}{L_x}\right)}{(\omega L_x + \omega L_0)^2 + (R_x + R_0)^2}. \quad (8)$$

де  $k_5$  – коефіцієнт перетворення амплітудного детектора АД.

Використовуючи напругу тестового сигналу як опорну для АЦП, отримуємо результат, інваріантний до її зміни. Результати перетворення АЦП заносять в МБК, де за розробленою програмою вони опрацьовують з урахуванням діаметра дроту, типу стопу (хромель, алюмель тощо), неінформативних параметрів вихорострумів перетворювачів (початкові параметри, конструктивні особливості тощо) і формує сигнал керування.

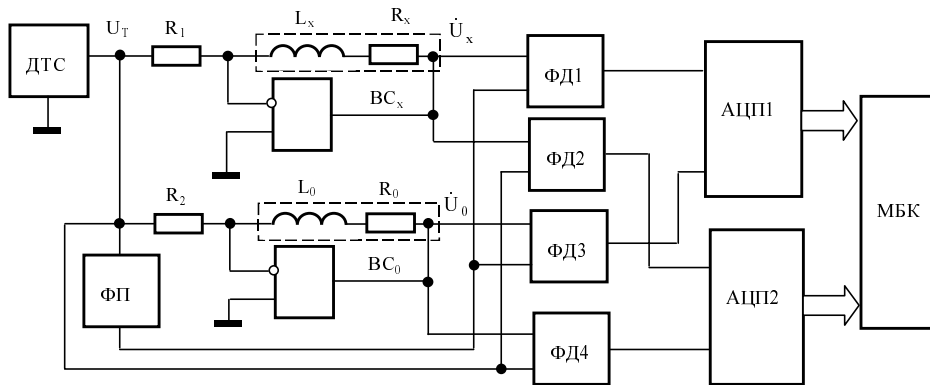


Рис. 2. Схема вимірювального засобу для контролю якості термоелектродного дроту з активним векторним перетворювачем

Інваріантність результату вимірювання параметрів перетворювачів (через їх низькоомність – одиниці Ом та одиниці мкГн) до з'єднувальних дротів та контактної опору забезпечує чотириконтактне під'єднання первинних перетворювачів [6].

Однак використання в структурі рис. 1 пасивного перетворювача “імпеданс–напруга” не забезпечує режиму заданого струму через вихороструміві перетворювачі, що необхідно для нормування метрологічних характеристик вимірювального засобу. Крім цього, необхідні складні розрахунки, а потім порівняння розрахованих параметрів контрольованого дроту та його зразка. Забезпечують режим заданого струму та спрощують вимірювання та розрахунки параметрів з використанням активних перетворювачів імпедансу в напругу.

Структурна схема вимірювального засобу із застосуванням активного перетворювача “імпеданс – напруга” наведена на рис. 2 (призначення вузлів схеми аналогічні до рис. 1). Вихороструміві сенсори вмикаються в коло від'ємного зворотного зв'язку операційних підсилювачів, що забезпечує необхідний режим заданого струму незалежно від різних зразків дроту і, відповідно, імпедансу вихорострумівого перетворювача. Задають струм через сенсори резисторами  $R_1$  та  $R_2$ .

Інформативні вихідні напруги активного векторного перетворювача

$$\begin{aligned} \dot{U}_x &= U_T \frac{j\omega L_x + R_x}{R_1}; \\ \dot{U}_0 &= U_T \frac{j\omega L_0 + R_0}{R_2}. \end{aligned} \quad (9)$$

На виходах фазочутливих детекторів (ФД1, ФД2, ФД3, ФД) відповідно маємо

$$\text{Im}(\dot{U}_x) = U_T k_1 \frac{j\omega L_x}{R_1}; \quad (10)$$

$$\text{Re}(\dot{U}_x) = U_T k_2 \frac{R_x}{R_1}; \quad (11)$$

$$\text{Im}(\dot{U}_0) = U_T k_3 \frac{j\omega L_0}{R_2}; \quad (12)$$

$$\text{Re}(\dot{U}_0) = U_T k_4 \frac{R_0}{R_2}. \quad (13)$$

Внаслідок ділення АЦП1 напруг (10) на (12), а АЦП2 (11) на (13) отримуємо

$$N_1 = \frac{k_1 L_x}{k_3 L_0}; \quad N_2 = \frac{k_2 R_x}{k_4 R_0}.$$

**Висновки.** За наведеними структурами можна створювати вимірювальні засоби з прямим перетворенням імпедансу в напругу, що забезпечують контроль якості термоелектродного дроту під час його виготовлення. Забезпечують інваріантність результату вимірювання до неінформативних впливних величин як електричної, так і неелектричної природи.

1. Гриневич Ф.Б., Монастырский З.Я. Цифровой экстремальный мост для поверки термопреобразователей сопротивления // Труды всесоюз. конф. “Состояние и перспективы развития средств измерения температуры контактными и бесконтактными методами”. – Львов, 1978. – С. 35–36. 2. Братусь Ю.В., Монастырский З.Я., Карпенко В.П., Войтенко Е.А., Кубрак Ю.А. Цифровой термометрический трансформаторный мост переменного тока // Техн. электродинамика. – 1983. – № 4. – С. 95–100. 3. Гаврилюк М.А., Соголовский Е.П. Электронные измерители CLR. 1979. 3. Гаврилюк М.О., Походило С.В., Соголовский Е.П., Хома В.В. Вимірювачі імпедансу з прямим перетворенням // Вимірювальна техніка та метрологія. 1996. – Вип. 52. 5. Бубела Т.З. Дослідження методу контролю якості термоелектродного дроту. Автореф. канд. дис. 2002. 6. Походило С.В. Малогабаритные измерители CLR-параметров прямого преобразования. Автореф. канд. дис. 1990.