

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОХИБОК НАДЛИШКОВИХ І ПРЯМИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ЛІНІЙНІЙ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

На сьогодні активно розвиваються методи надлишкових вимірювань (МНВ). Покажемо перевагу методів надлишкових вимірювань перед прямими при лінійній функції перетворення (ФП) вимірювального каналу.

Надлишкові вимірювання – це вимірювальні перетворення декількох ( $n \geq 3$ ) фізичних величин (ФВ), розміри яких пов'язані між собою за законами арифметичної прогресії, геометричної чи їх комбінації. Під прямими методами розуміємо методи безпосереднього вимірювання, наприклад, вимірювання температури за допомогою оптичних сенсорів, наприклад, фотоприймачів.

Оскільки ФП фотоприймача на основі фотодіоду має логарифмічний характер, то необхідно проводити її лінеаризацію. Для цього апроксимуємо її лінійною функцією з похибкою, не більше ніж 1%.

В результаті отримуємо лінійну ФП виду:

$$U'_{л} = S'_{л} \Phi_x + \Delta U'_{зм},$$

де  $S'_{л}$  – крутість перетворення лінійної складової ФП, причому  $\{S'_{л}\} = \{S_{л}\}(1 + \gamma_{л})$  ( $\gamma'_{л}$  – відносна зміна крутості, обумовленої впливом дестабілізуючих факторів і старіння елементів фотоприймача);  $\Delta U'_{зм}$  – напруга зміщення, причому  $\Delta U'_{зм} = \Delta U_{зм} + \Delta_a$  ( $\Delta_a$  – адитивна складова похибки вимірювання);  $\Phi_x$  – потужність потоку оптичного випромінювання.

Метод надлишкових вимірювань при лінійній ФП сенсора описується системою лінійних рівнянь величин виду:

$$\left. \begin{aligned} U'_{л1} &= \Delta U'_{зм} \\ U'_{л2} &= S'_{л} \Phi_0 + \Delta U'_{зм} \\ U'_{л3} &= S'_{л} \Phi_x + \Delta U'_{зм} \end{aligned} \right\}.$$

В результаті рішення даної систем і підстановці отриманого значення потужності потоку  $\Phi_x$  оптичного випромінювання в закон Стефана-Больцмана, отримуємо рівняння надлишкових вимірювань виду:

$$T_x = \sqrt[4]{\Phi_x / \sigma} = \sqrt[4]{\Phi_0 + \frac{\Phi_0 (U'_{л3} - U'_{л1})}{U'_{л2} - U'_{л1}}} / \sigma.$$

В отриманому рівнянні надлишкових вимірювань завдяки операції віднімання напруг виключається адитивна складова похибки вимірювання, а завдяки операції ділення відповідних напруг виключається мультиплікативна складова систематичної похибки.

Визначимо на нелінійній ФП фотодіоду ФД307 лінійну ділянку в межах якої потужність  $\Phi_x$  потоку оптичного випромінювання змінюється від  $\Phi_x = 66$  мкВт до  $\Phi_x = 88$  мкВт. Апроксимуюча лінійна функція має наступні значення параметрів ФП:  $S_{л} = 0,55$  мВ/мкВт,  $\Delta U_{зм} = 211$  мВ. Дослідження здійснювалися за паспортними даними фотодіода і нормованої за значенням потужності потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0 = 0,8$  мВт. В результаті розрахунків МНВ отримані наступні результати:

1. Відносна похибка  $\delta$  надлишкових вимірювань потоку оптичного випромінювання  $\Phi_x$  складає 0,01%.
2. Зміна параметрів ФП з 1% до 10% не впливає на результат надлишкових вимірювань потужності потоку оптичного випромінювання і складає 0,01% (при умові незмінних значень параметрів ФП за час вимірювання).
3. Відносна методична похибка вимірювання температури  $\delta_T$  методом надлишкових вимірювань складає 0,003%.

При дослідженні прямого методу вимірювання температури зміна значень параметрів ФП фотодіоду з 1% до 10% призводить до збільшення похибки  $\delta_T$  вимірювання температури з 0,77% до 3,03%. Збільшення адитивної складової похибки з 0,001 В до 0,002 В призводить до збільшення відносної похибки з 0,77% до 1,59% (у випадку зміни параметрів ФП фотоприймача на 1%).

Дослідження показали залежність результату прямих вимірювань температури від зміни параметрів функції перетворення.

Оцінка ефективності МНВ при лінійній ФП по відношенню до методу прямого вимірювання показала, що вона склала 2 і більше порядків.

Основними перевагами МНВ по відношенню до прямих є наступні: 1) МНВ забезпечують автоматичне виключення систематичних та корельованих випадкових похибок результату вимірювань завдяки обробці результатів вимірювального перетворення за рівнянням надлишкових вимірювань; 2) МНВ забезпечують інваріантність результатів вимірювання до розбросу значень параметрів ФП фотоприймача; 3) результат надлишкових вимірювань отримують приведеним до входу вимірювального каналу.

Отримані результати підтверджують наявні переваги методів надлишкових вимірювань перед прямими.