

## ШУМОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Яненко О. П.<sup>1</sup>, д.т.н., професор; Василенко М. П.<sup>2</sup>, к.т.н.;  
Шевченко К. Л.<sup>1</sup>, д.т.н., доцент

<sup>1</sup> Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Київський національний університет технологій та дизайну,  
м. Київ, Україна

Шумові методи вимірювання температури знаходять широке застосування в техніці і науці. Однією з головних переваг шумового вимірювання температури є відсутність датчиків, що перетворюють температуру у електричний сигнал [1]. При шумових вимірюваннях визначають середньоквадратичне значення (СКЗ) напруги теплового шуму, яке пропорційне термодинамічній температурі досліджуваного об'єкта. Недоліком шумового способу є залежність результатів вимірювання від опору об'єкта. Це викликає складнощі при вимірюванні температури об'єктів різної форми і розмірів, внаслідок чого шумові вимірювачі температури мають відносно невисоку точність вимірювання.

Для виключення впливу опору об'єкта на результат вимірювання температури в алгоритм роботи вимірювача вводять додаткові операції обробки сигналів, наприклад, наведеним в [2, 3] чином, однак, через неконтрольовані зміни опору самого об'єкта неможливо повністю компенсувати похибку від його опору в процесі експлуатації, а неідентичність характеристик перетворювачів струму в напругу обумовлює додаткову похибку у вимірюванні температури.

Авторами запропоновано функціональну схему та алгоритм роботи шумового вимірювача температури, в якому усунуті перераховані вище недоліки. Електрична функціональна схема шумового вимірювача температури наведена на рис. 1.

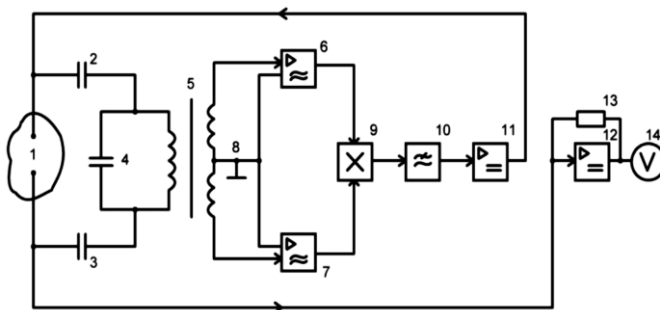


Рисунок 1. Електрична функціональна схема шумового вимірювача температури.

Схема складається з провідного об'єкта, умовно показаного позицією 1, роздільних конденсаторів 2 і 3, конденсатора 4, трансформатора 5, широкосмугових підсилювачів 6 і 7, загальної шини 8, перемножувача 9, фільтра нижніх частот 10, підсилювача постійної напруги 11, операційного підсилювача 12, постійного резистора 13 і вольтметра 14.

В об'єкті 1, з температурою  $T_x$ , завжди присутній тепловий шум, викликаний флуктуаціями елементарних носіїв електричного заряду (елект-

ронів, іонів) всередині об'єкта. Спектр теплового шуму досить широкий: від низьких до високих частот. Однак, напруга на резонансному контурі з конденсатора 4 і індуктивності трансформатора 5 визначається тільки тими коливаннями, які потрапляють в смугу пропускання цього контуру.

Резонансну частоту паралельного коливального контуру слід обирати в діапазоні частот 100 - 300 кГц, в якому відсутні низькочастотні шуми типу фліккер-шуму, а високочастотні електромагнітні наводки ще невеликі.

За високої добротності обмоток трансформатора (втрати в контурі малі) еквівалентний опір коливального контуру набагато більший за опір об'єкта 1. Тому СКЗ шумової напруги визначається формулою Найквіста:

$$\bar{U}_1 = \sqrt{4kT_x \Delta f R_0}, \quad (1)$$

де  $k$  — постійна Больцмана;  $\Delta f$  — смуга частот спектру теплових шумів, що виділяються коливальним контуром;  $R_0$  — опір провідного об'єкта.

Шумова напруга (1) трансформується у вторинну обмотку трансформатора 5 і далі підсилюється двома широкосмуговими підсилювачами 6 і 7. Підсилені середньоквадратичні напруги з урахуванням власних шумів підсилювачів набувають вигляду:

$$\bar{U}_2 = \sqrt{4K_1^2 K_2^2 \bar{U}_1^2 + \bar{U}_{ш2}^2}, \quad (2)$$

$$\bar{U}_3 = \sqrt{4K_1^2 K_3^2 \bar{U}_1^2 + \bar{U}_{ш3}^2}, \quad (3)$$

де  $K_1$  — коефіцієнт трансформації трансформатора 5;  $K_2$  і  $K_3$ ,  $\bar{U}_{ш2}^2$  і  $\bar{U}_{ш3}^2$  — коефіцієнти підсилення 6 і 7 та СКЗ їх власних шумів відповідно.

При перемноженні напруг (2) і (3) в перемножувачі 9 слід врахувати, що власні шуми підсилювачів 6 і 7, які мають широку смугу пропускання, між собою некорельовані, тому їх усереднений добуток дорівнює нулю. В той же час шумові напруги від об'єкта 1, отримані на обмотках трансформатора 5, залишаються корельованими. В результаті середній квадрат шумової напруги на виході перемножувача визначається тільки тепловими шумами провідного об'єкта 1:

$$U_4^2 = K_1^2 K_2 K_3 S U_1^2, \quad (4)$$

де  $S$  — крутизна перетворення перемножувача 9.

Напругу (4) усереднюють фільтром нижніх частот 10, виділену постійну складову подають на вхід підсилювача постійної напруги 11.

Підсилену напругу через провідний об'єкт подають на підсилювач 12, охоплений від'ємним зворотним зв'язком через резистор 13 з опором  $R$ .

При послідовному включенні операційного підсилювача 12 з провідним об'єктом його коефіцієнт підсилення  $K_6$  визначається виразом:

$$K_6 = R/R_0. \quad (5)$$

Напруга (4), після підсилення набуває вигляду

$$U_6 = 4kK_1^2 K_2 K_3 K_4 K_5 S \Delta f R T_x. \quad (6)$$

Як видно з виразу (6) в результаті підсилення в функції перетворення відбулося заміщення опору об'єкта  $R_0$  опором постійного резистора  $R$  ланцюга зворотного зв'язку підсилювача 12. В результаті виключається вплив опору  $R_0$  провідного об'єкта на результат перетворення температури  $T_x$  на постійну напругу  $U_6$ , яка вимірюється вольтметром 14.

Завдяки використанню підсилювачів 6 і 7 з широкою смугою пропускання усереднений добуток власних шумів підсилювачів прагне до нуля, що забезпечує вимірювання температур при низькоінтенсивному тепловому шумі об'єкта. Необхідне обмеження смуги частот теплового шуму, що виділяється, здійснюється резонансним контуром, що виключає кореляцію власних шумів підсилювачів.

#### **Перелік посилань**

1. Луцик Я. Т. Енциклопедія термометрії / Я. Т. Луцик, Л. К. Буняк, Ю. К. Рудавський, Б. У. Стадник. — Львів: вид-во "Львівська політехніка", 2003. — 428с.
2. Саватеев А. В. Шумовая термометрия. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. — 132с.
3. Патент України №70940, Шумовий спосіб вимірювання температури, МПК G01K7/30, Скрипник Ю. О., Лісовський О. А., Василенко М. П., — 2012р.

#### **Анотація**

Показана можливість вимірювання температури провідних об'єктів з використанням їх власного теплового випромінювання. Запропоновані функціональна схема та алгоритм вимірювання, які забезпечують виключення впливу опору досліджуваного об'єкта та неідентичності підсилювальних елементів схеми.

**Ключові слова:** тепловий шум, шумовий метод, температура.

#### **Аннотация**

Показана возможность измерения температуры проводящих объектов с использованием их собственного теплового излучения. Предложены функциональная схема и алгоритм измерения, обеспечивающие исключение влияния сопротивления исследуемого объекта и неидентичность усилительных элементов схемы.

**Ключевые слова:** тепловой шум, шумовой метод, температура.

#### **Abstract**

The possibility of the temperature measuring of the leading facilities of its own, using thermal radiation. The proposed functional diagram and algorithm of measurement, excluding the effect of providing support and research object nonidentity amplifying elements.

**Keywords:** thermal noise, noise method, temperature.