

- П. Профоса. – М., 1990. 4. Електричні вимірювання електричних і неелектричних величин / Під ред. Є. С. Поліщука. – К., 1978. 5. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. – Львів, 2000. 6. Дубицкий Л.Г. Радиотехнические методы контроля изделий. – М., 1963. 7. Кнеллер В. Ю., Березовский Л.П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников. – М., 1986. 8. Гаврилюк М.А., Соголовский Е.П. Электронные измерители CLR. – Львов. 1979. 9. Кнеллер И. Ю. Автоматическое измерение составляющих комплексного сопротивления – М. – Л., 1967. 10. Гриневич Ф.Б. Автоматические мосты переменного тока. – Новосибирск, 1964. 11. Головка Д.Б., Скрипник Ю.О. Методи та засоби частотно – дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: Фізичні основи. – К., 2000. 12. Головка Д.Б., Скрипник Ю.О. Методи та засоби частотно – дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: Вимірювальні схеми та прилади. – К., 2000. 13. Берлинер М.А. Измерение влажности / Изд. 2-е, перераб. и доп. – М., 1973. 14. Високочастотні засоби вимірювання фізичних величин із самоналагоджуванням і автокорекцією похибок: Навч. посіб. / П.М. Таланчук, Ю.О. Скрипник, В.О. Дубровний. – К., 1996. 15. Засименко В.М. Основи теорії планування експерименту: Навч. посіб. – Львів, 2000.

УДК 536.53

І.П. Микитин, Б.І. Стадник

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Інформаційно-вимірювальна техніка”

ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОКАНАЛЬНОГО ТА КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧІВ ДЛЯ ШУМОВОГО ТЕРМОМЕТРА

© Микитин І.П., Стадник Б.І., 2002

Розглянуто доцільність використання одноканального і двоканального (кореляційного) підсилювачів при створенні шумового термометра, який побудований на основі методу прямого вимірювання корисного сигналу.

Some aspects of developing the noise thermometer based on direct measuring of noise voltage are considered. There are compared one- and two channel amplifiers in above thermometers.

Шумовий сигнал, який несе інформацію про вимірювану температуру, є дуже низького рівня. Середньоквадратичне значення шумової напруги U_{skz} для первинного перетворювача опором 100 Ом при кімнатній температурі та робочій смузі частот 100 кГц, розраховане за формулою Найквіста [1], дорівнює

$$U_{skz} = 0.4 \text{ мкВ.}$$

Тому потрібно використовувати підсилювачі з великим коефіцієнтом підсилення. Враховуючи ще й те, що шумовий термометр (ШТ) працює у широкій частотній смузі, важливого значення набуває боротьба із зовнішніми та внутрішніми завадами.

Джерелом зовнішньої завади може бути об'єкт вимірювання температури, силова мережа, від якої живиться ШТ, та комп'ютер, з яким спряжений ШТ. Внутрішня завада може виникати за рахунок великого коефіцієнта підсилення підсилювача – вплив високочастотних вихідних кіл ШТ на вхідні високочутливі кола через паразитні резистивні, індуктивні та ємнісні зв'язки.

Підсилювач-корелятор [2] дає змогу мінімізувати вплив власних шумових напруг активних елементів на результат вимірювання та покращати метрологічні характеристики ШТ. Проте створення такого підсилювача пов'язане з вирішенням проблеми завадостійкості до внутрішніх завад – впливу одного каналу на другий. Такий підсилювач вдвічі дорожчий від одноканального. Тому доцільно проаналізувати переваги та недоліки застосування одноканального та двоканального підсилювачів для створення ШТ, який використовує метод прямого вимірювання корисного сигналу.

Для цього скористаємося математичною моделлю шумового термометра на основі кореляційного підсилювача [3] та одноканального підсилювача, функції перетворення якого виведено як у [3] із застосуванням математичного апарату статистичного аналізу випадкових процесів.

На виході пристрою усереднення для ШТ з кореляційним підсилювачем, амплітудно-частотні характеристики двох каналів якого ідентичні ($H_1(f)=H_2(f)$), отримано квадрат математичного сподівання квадрата шумової напруги $M(e_0^2)$ і дисперсію вихідного сигналу $D(e_0^2)$ для корисного сигналу, а також дисперсії для статистично незалежних сигналів $D(e_1 \cdot e_2)$, $D(e_0 \cdot e_1)$, $D(e_0 \cdot e_2)$

$$\begin{aligned} M(e_0^2) &= K_p^2 \cdot S_0^2 \cdot \left(\int_{-\infty}^{+\infty} |H_1(f)|^2 df \right)^2, \\ D(e_0^2) &= 2 \cdot K_p^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_0^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (|H_1(v)| \cdot |H_1(f-v)|)^2 dv \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \theta)}{\pi \cdot f \cdot \theta} \right)^2 df, \\ D(e_1 \cdot e_2) &= K_p^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_1 \cdot S_2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (|H_1(v)| \cdot |H_1(f-v)|)^2 dv \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \theta)}{\pi \cdot f \cdot \theta} \right)^2 df, \\ D(e_0 \cdot e_1) &= K_p^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_0 \cdot S_1 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (|H_1(v)| \cdot |H_1(f-v)|)^2 dv \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \theta)}{\pi \cdot f \cdot \theta} \right)^2 df, \\ D(e_0 \cdot e_2) &= K_p^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_0 \cdot S_2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (|H_1(v)| \cdot |H_1(f-v)|)^2 dv \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \theta)}{\pi \cdot f \cdot \theta} \right)^2 df, \end{aligned} \quad (1)$$

де K_p – коефіцієнт передачі перемножувача, S_0 – спектральна густина потужності корисного шумового сигналу, S_1 , S_2 – спектральна густина потужності шумових напруг двох каналів кореляційного підсилювача (неінформативні шумові сигнали), θ – час усереднення, v , f – частота.

Для ШТ з одноканальним підсилювачем отримано подібні математичні вирази:

$$\begin{aligned} M(e_0^2) &= K_p^2 \cdot S_0^2 \cdot \left(\int_{-\infty}^{+\infty} |H_1(f)|^2 df \right)^2, \\ D(e_0^2) &= 2 \cdot K_p^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_0^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (|H_1(v)| \cdot |H_1(f-v)|)^2 dv \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \theta)}{\pi \cdot f \cdot \theta} \right)^2 df, \\ M(e_1^2) &= K_p^2 \cdot S_1^2 \cdot \left(\int_{-\infty}^{+\infty} |H_1(f)|^2 df \right)^2, \\ D(e_1^2) &= 2 \cdot K_p^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_1^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (|H_1(v)| \cdot |H_1(f-v)|)^2 dv \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \theta)}{\pi \cdot f \cdot \theta} \right)^2 df. \end{aligned} \quad (2)$$

$$D(e_0 \cdot e_1) = 2 \cdot K_p^2 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S_0 \cdot S_1 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (|H_1(v)| \cdot |H_1(f-v)|)^2 dv \cdot \left(\frac{\sin(\pi \cdot f \cdot \theta)}{\pi \cdot f \cdot \theta} \right)^2 df,$$

де $M(e_1^2)$ – математичне сподівання квадрата власної шумової напруги підсилювача.

Дисперсія вихідної напруги пристрою усереднення зменшується із збільшенням часу усереднення та частотної смуги ШТ [4]. Отже, методичну похибку, зумовлену шумовою природою корисного та неінформативних сигналів, можна зменшити до потрібного рівня, змінюючи параметри ШТ. З цього погляду використання одноканального та двоканального підсилювачів є рівносильним.

Єдиною відмінністю у виразах (1),(2) є те, що до корисного сигналу в (2) додається квадрат математичного сподівання квадрата шумової напруги підсилювальних елементів (неінформативних сигналів). Це вносить додаткову похибку вимірювання температури

$$\delta_{nsh} = \frac{M(e_1^2)}{M(e_0^2)} \cdot 100\% . \quad (3)$$

Тому якщо неінформативні шумові сигнали вносять похибку δ_{nsh} в межах допустимого, можна використовувати одноканальний підсилювач. В іншому випадку доцільно застосовувати кореляційний підсилювач.

Дослідження, виконані в [5], розглядають способи зменшення похибок ШТ, які виникають за рахунок власних шумових параметрів активних елементів, а також від нестабільності комплексної частотної характеристики кореляційного підсилювача, коефіцієнта передачі перемножувача та аналого-цифрового перетворювача.

При застосуванні операційного підсилювача на похибку вимірювання найбільший вплив мають його шумові напруги та вхідні шумові струми. Використання кореляційного підсилювача дає змогу мінімізувати лише вплив шумової напруги операційного підсилювача. Зменшення впливу власних шумових струмів можна досягти двома способами: вибором операційного підсилювача з потрібними шумовими параметрами та зменшенням опору первинного перетворювача.

Аналіз операційних підсилювачів показав, що підсилювачі з малими шумовими струмами характеризуються, як правило, істотними шумовими напругами. Це призводить до необхідності збільшення часу усереднення. Зменшення ж опору первинного перетворювача призводить до зменшення рівня корисного сигналу, спричиняє зростання вимог до шумових параметрів окремих підсилювальних елементів.

Якщо врахувати вплив шумових струмів активних елементів та неідеальність коефіцієнта перетворення кореляційного підсилювача, перемножувача та аналого-цифрового перетворювача (АЦП), то результат вимірювання можна записати так:

$$N_x = b_0 + b_1 \cdot T \cdot R_x + b_2 \cdot R_x^2, \quad (4)$$

де $b_0 = K_{acp} \cdot (Z_{os} + a_{oacp})$, $b_1 = K_{acp} \cdot K_p \cdot 4 \cdot k \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} |H_1(f)|^2 df \cdot (1 + \gamma_{x1} + \gamma_{x2})$, $b_2 = K_{acp} \cdot K_p \times$
 $\times (S_{IA1+} + S_{IA2+}) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} |H_1(f)|^2 df \cdot (1 + \gamma_{x1} + \gamma_{x2})$ N_x – результат вимірювання, R_x – опір первинного перетворювача, T – абсолютна температура, K_{acp} – коефіцієнт перетворення АЦП, Z_{os} – напруга зміщення перемножувача, a_{oacp} – напруга зміщення АЦП, k – стала Больцмана, S_{IA1+} , S_{IA2+} – спектральна густина потужності вхідних струмів двох каналів кореляційного підсилювача, γ_{x1} , γ_{x2} – коефіцієнти нелінійності по входах перемножувача.

За відомих коефіцієнтів b_0 , b_1 , b_2 та опору первинного перетворювача R_x вимірювана температура дорівнює

$$T = \frac{N_x - b_0 - b_2 \cdot R_x^2}{b_1 \cdot R_x}. \quad (5)$$

Для знаходження коефіцієнтів b_0 , b_1 , b_2 запропонована алгоритмічна корекція показів ШТ.

Як показали дослідження [5], кореляційний підсилювач не вирішує всіх проблем. Якщо потрібна похибка вимірювання температури досягається без використання алгоритмічної корекції, краще використовувати кореляційний підсилювач. Якщо ж для досягнення необхідної похибки обов'язково потрібна корекція, доцільніше застосовувати одноканальний підсилювач.

1. Nyquist H.A. *A thermal motion of electrical charges in conductors* // *Phys. Rev.* V.32. – 1928. – July. – № 1. – P. 110. 2. Саватеев А.В. *Шумовая термометрия.* – Л., 1987. 3. Микитин І.П., Стадник Б.І., Дорожовець М.М. *Математична модель шумового термометра на основі кореляційного підсилювача* // *Вимірювальна техніка та метрологія.* Львів. – 2000. – №57. 4. Микитин І.П., Стадник Б.І. *Методична похибка вимірювання шумовим термометром.* // *Вісн. НУ “Львівська політехніка”.* Львів. – 2001. – № 420. – С.102 – 104.

УДК 539.2+658.562

В.Р. Куць, В.М. Юзевич*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Метрологія, стандартизація та сертифікація”

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ТВЕРДИХ ТІЛ

© Куць В.Р., Юзевич В.М., 2002

Розглянуто питання якості поверхні твердих тіл на основі аналізу поверхневої енергії та натягу, наведено методики їх визначення. Викладено необхідні теоретичні основи стосовно термодинамічних параметрів поверхні, за допомогою яких можна виділити найважливіші параметри, що характеризують якість поверхні, і зміну яких можна прогнозувати.

Questions concerning surface quality of solids are discussed on the basis of surface energy and tension analysis, methods of their determination are developed. Required theoretical basis concerning thermodynamic surface parameters used for surface quality characterization is discussed.

Проаналізуємо сучасний стан якості інформації про поверхню твердих тіл з врахуванням даних, які отримують на основі інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів поверхневих шарів твердих тіл [1], використовуючи підхід, викладений у [2].