

основі аналізу туристичних потоків в період 2004–2009 рр. встановлено, що найприбутковіший вид туризму – екскурсійний, але аналіз швидкостей зміни туристичних потоків дав змогу встановити, що кількість туристів із зарубіжних країн зростає, і із збереженням відповідних темпів зростання через 2 (чи 3) роки прибуток від в'їзного туризму може перевищити прибуток інших видів, зокрема прибуток від екскурсійного туризму на 12 %.

Наведені у роботі способи моделювання туристичного потоків на основі мурашиних алгоритмів є доволі ефективним інструментом, оскільки надають туристичним фірмам можливість бачити, які питання потрібно вирішувати для задоволення потреб туристів у майбутньому.

Якщо всі ці фактори будуть враховані, то можна очікувати оптимальнішого використання природних та рекреаційних ресурсів України. За таких умов туризм має перспективи стати однією з провідних галузей, яка здатна приносити значний дохід державі, а також займати одне з важливих місць на світовому ринку туристичних послуг і гідно представляти історичні та рекреаційні ресурси нашої країни для іноземних туристів.

1. Банько В. Г. *Туристська логістика: Навч. посібник* / В. Г. Банько. – К.: Дакор, КНТ, 2008. – 204 с. 2. Ротштейн О. П. *Моделювання та оптимізація надійності багатовимірних алгоритмічних процесів* // О. П. Ротштейн, С. Д. Штовба, О. М. Козачко. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 211 с. 3. <http://www.ukrstat.gov.ua>. 4. Штовба С. Д. *Мурашині алгоритми оптимізації* / С. Д. Штовба, О. М. Рудий // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2004. – № 4. – С. 62–69.

УДК 536.5

І. Микитин

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ШУМОВА МОДЕЛЬ ВХІДНОГО КОЛА ШУМОВОГО ТЕРМОМЕТРА НА ОСНОВІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Ї Микитин І., 2011

Запропоновано шумову модель вхідного кола шумового термометра на основі інструментального підсилювача, яка описує залежність вихідної напруги підсилювача від шумових параметрів чутливого елемента первинного перетворювача, лінії зв'язку, операційних підсилювачів та резисторів зворотного зв'язку першого каскаду. Отримано математичний вираз еквівалентної сумарної шумової напруги, зведеної до входу шумового термометра.

Ключові слова: температура, похибка вимірювання, шумова напруга, інструментальний підсилювач.

It was proposed the noise model of input circle of noise thermometer based on the instrumental amplifier, which describes the dependence of output voltage of amplifier from the noise parameters of the sensitive element of the primary converter, the lines of connection, the operational amplifiers and the resistors of the feedback of the first cascade. It was obtained the mathematical expression of the equivalent total noise voltage, which is reduced to the input of the noise thermometer.

Keywords: temperature, measurement error, noise tension, instrumental amplifier.

Постановка проблеми

Однією із проблем шумової термометрії, яка перешкоджає широкому впровадженню шумових термометрів (ШТ), є високочутливе вхідне коло та необхідність працювати у широкій

частотній смузі вимірюваного сигналу (шумової напруги), що спричиняє високу чутливість ШТ до завад. Спотворення вимірюваного шумового сигналу можливе за рахунок зовнішніх завад, які створюються сторонніми джерелами змінної напруги, та внутрішніх, які генеруються вихідними аналоговими та цифровими колами вторинної апаратури ШТ [1]. Зовнішні завади переважно мають характер синфазного сигналу відносно входу ШТ.

Для покращання метрологічних та експлуатаційних характеристик ШТ у вхідному колі ШТ використовується кореляційний підсилювач [2], який дає змогу зменшити за однакового часу вимірювання та частотної смуги вимірюваного сигналу методичну похибку вимірювання середнього значення квадрату шумової напруги, яке пропорційне до вимірюваної температури. Проте такий підсилювач практично не послаблює синфазний сигнал завади, вплив якої на результат вимірювання може бути співмірний з вимірюваним шумовим сигналом. Використання у вхідному колі інструментального (вимірювального) підсилювача [3], який має високий коефіцієнт послаблення синфазного сигналу, дає змогу істотно підвищити завадостійкість ШТ. Крім того, інструментальний підсилювач забезпечує високу точність і стабільність передавальної характеристики схеми – як короткочасну, так і довготривалу.

Найчастіше використовується вимірювальний підсилювач (рис.1), який побудований за схемою двокаскадного підсилювача. Перший каскад складається з двох взаємопов'язаних неінвертуючих підсилювачів. Другий каскад – диференціальний підсилювач. Резистор R_g – спільний для обох неінвертуючих підсилювачів. Для забезпечення симетричного входу використано первинний перетворювач, який складається з двох однакових за значенням опорів резисторів R_{x1} та R_{x2} , що з'єднані одними контактами з нульовим дротом, а іншими – із входами інструментального підсилювача (рис.1).

Дослідження, проведені в [4], показали, що методична похибка залежить не лише від часу усереднення та робочої частотної смуги, але й від приведених до входу шумових параметрів вимірювальних ланок шумового термометра. Причому, якщо відношення спектральної густини вимірюваного шумового сигналу до спектральної густини неінформативного сигналу більше за 10, то впливом таких шумових сигналів на значення методичної похибки можна знехтувати [1]. Оскільки коефіцієнт підсилення першого каскаду можна забезпечити набагато більшим за десять, то шумові параметри наступних каскадів підсилення можна не враховувати.

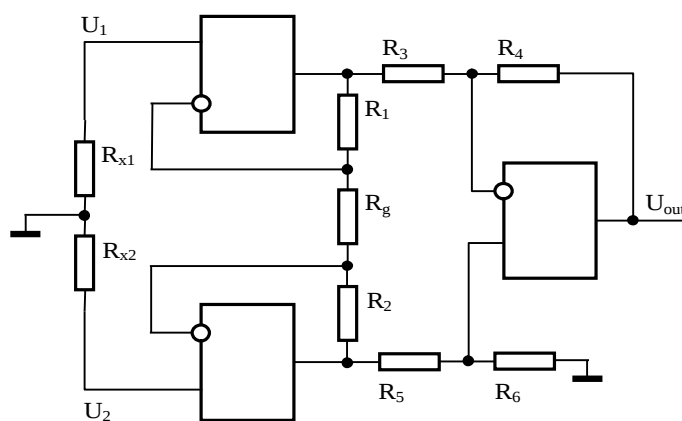


Рис. 1. Інструментальний підсилювач

Тому при аналізі методичних похибок можна обмежитися лише шумовими сигналами, які виникають у вхідному колі ШТ та у першому каскаді підсилення.

Шумова модель вхідного кола шумового термометра

Структурну схему вхідного кола ШТ з використанням інструментального підсилювача наведено на рис. 2. У вхідному колі ШТ за рахунок взаємодії первинного перетворювача та засобу вимірювання (вимірювальної частини ШТ) виникає вхідний сигнал, який являє собою композицію

вимірюваних шумових сигналів $e_{RX1}(t)$, $e_{RX2}(t)$ та шумової завади $e_{Z1}(t)$, $e_{Z2}(t)$, які подаються попарно на два входи інструментального підсилювача.

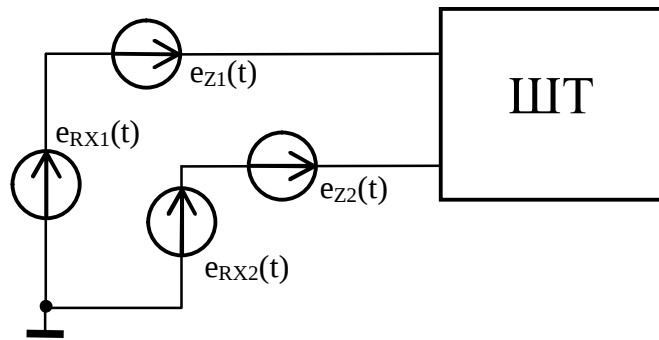


Рис. 2. Вхідне коло ІТ з інструментальним підсилювачем

Шумову модель вхідного кола ІТ (рис. 3) синтезовано з використанням шумової моделі операційного підсилювача, де $u_{OUT}(t)$ – напруга на виході інструментального підсилювача, $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_g$, – резистори зворотного зв'язку, $e_{R1}(t), e_{R2}(t), e_{R3}(t), e_{R4}(t), e_{R5}(t), e_{R6}(t), e_{Rg}(t)$ – шумові напруги резисторів зворотного зв'язку, $e_{N1}(t), e_{N2}(t), e_{N3}(t)$ – шумові напруги ОП, $i_{N1+}(t), i_{N1-}(t), i_{N2+}(t), i_{N2-}(t), i_{N3+}(t), i_{N3-}(t)$ – вхідні шумові струми прямого та інверсного входу ОП. Первинний перетворювач (R_{X1} та R_{X2}) під'єднано за чотириввідною схемою з'єднання, де $R_{L1}, R_{L2}, R_{L3}, R_{L4}$, – активні опори дротів лінії зв'язку; $e_{L1}(t), e_{L2}(t), e_{L3}(t), e_{L4}(t)$, – шумові напруги дротів лінії зв'язку.

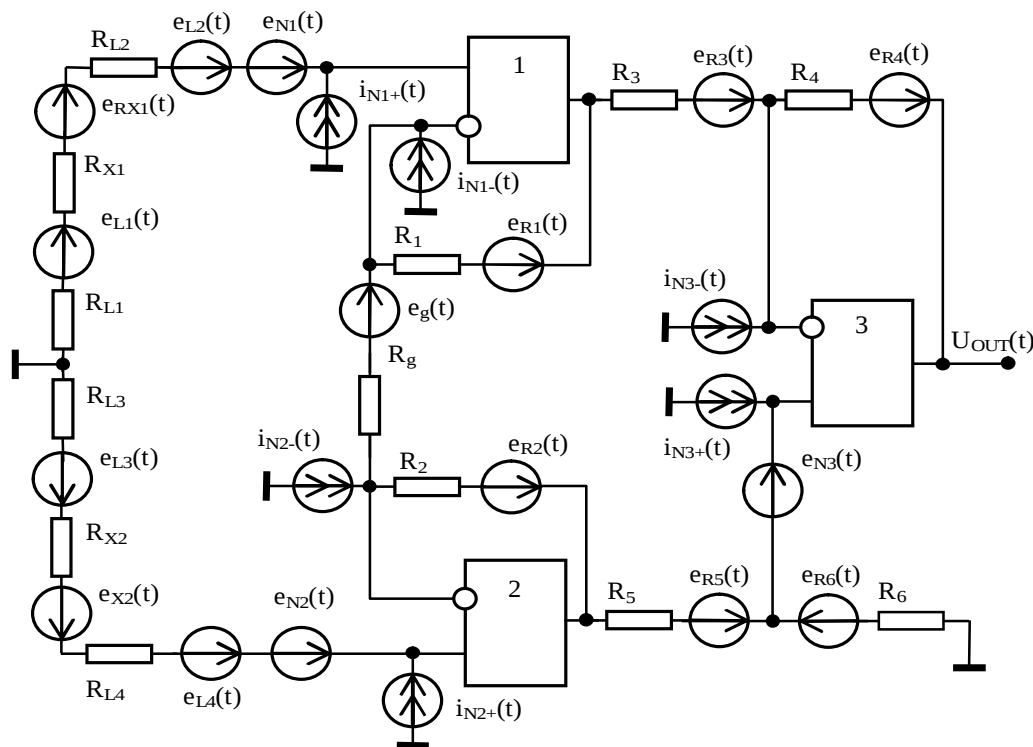


Рис. 3. Шумова модель вхідного кола ІТ за схемою інструментального підсилювача

Використавши метод суперпозиції [5], властивості ідеального операційного підсилювача [6] та беручи до уваги, що для інструментального підсилювача забезпечується рівність резисторів $R_1 = R_2$, $R_3 = R_5$, $R_4 = R_6$, отримано вираз шумової напруги на виході інструментального підсилювача:

$$\begin{aligned}
u_{OUT}(t) = & -K_1 e_{RX1}(t) + K_1 e_{RX2}(t) - K_1 e_{L1}(t) - K_1 e_{L2}(t) - K_1 e_{N1}(t) + K_1 e_{L3}(t) + \\
& + K_1 e_{L4}(t) + K_1 e_{N2}(t) - K_1 (R_{X1} + R_{L1} + R_{L2}) i_{N1+}(t) + K_1 (R_{X2} + R_{L3} + R_{L4}) i_{N2+}(t) - \\
& - e_{R1}(t) R_4 / R_3 + e_{R2}(t) R_4 / R_3 + i_{N1-}(t) R_1 R_4 / R_3 - i_{N2-}(t) R_1 R_4 / R_3 + \\
& + 2 e_{Rg}(t) R_1 R_4 / (R_3 R_g) - e_{R3}(t) R_4 / R_3 + e_{R5}(t) R_4 / R_3 + e_{R4}(t) + \\
& + e_{R6}(t) + i_{N3+}(t) R_4 - i_{N3-}(t) R_4 + e_{N3}(t) (1 + R_4 / R_3),
\end{aligned} \tag{1}$$

де $K_1 = (1 + R_1 / R_g) R_4 / R_3$.

Поділивши (1) на коефіцієнт підсилення вимірюваних шумових сигналів $e_{RX1}(t)$, $e_{RX2}(t)$, ввівши позначення

$$\begin{aligned}
c_0 = c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = c_6 = c_7 = 1, c_8 = R_{X1} + R_{L1} + R_{L2}, \\
c_9 = R_{X2} + R_{L3} + R_{L4}, c_{10} = c_{11} = c_{15} = c_{16} = R_4 / (R_3 K_1), \\
c_{12} = c_{13} = R_1 R_4 / (R_3 K_1), c_{14} = 2 R_1 R_4 / (R_3 R_g K_1), \\
c_{17} = c_{18} = 1 / K_1, c_{19} = c_{20} = R_4 / K_1, c_{21} = (1 + R_4 / R_3) / K_1
\end{aligned} \tag{2}$$

та підставивши (2) в (1), отримаємо такий вираз шумової напруги, зведеної до входу інструментального підсилювача:

$$\begin{aligned}
u_{IN}(t) = & -c_0 e_{RX1}(t) + c_1 e_{RX2}(t) - c_2 e_{L1}(t) - c_3 e_{L2}(t) - c_4 e_{N1}(t) + \\
& c_5 e_{L3}(t) + c_6 e_{L4}(t) + c_7 e_{N2}(t) - c_8 i_{N1+}(t) + c_9 i_{N2+}(t) - c_{10} e_{R1}(t) + \\
& + c_{11} e_{R2}(t) + c_{12} i_{N1-}(t) - c_{13} i_{N2-}(t) + c_{14} e_{Rg}(t) - c_{15} e_{R3}(t) + \\
& + c_{16} e_{R5}(t) + c_{17} e_{R4}(t) + c_{18} e_{R6}(t) + c_{19} i_{N3+}(t) - c_{20} i_{N3-}(t) + c_{21} e_{N3}(t),
\end{aligned} \tag{3}$$

який згодом можна використовувати для дослідження методичної похибки шумового термометра з інструментальним підсилювачем у вхідному колі.

Висновок

Розглянуто шумову модель вхідного кола шумового термометра на основі інструментального підсилювача. Одержано математичний вираз, який описує залежність вихідної напруги інструментального підсилювача від шумових параметрів чутливого елемента первинного перетворювача, лінії зв'язку, операційних підсилювачів та резисторів зворотного зв'язку, а також вираз еквівалентної шумової напруги, зведеної до входу шумового термометра. Отримана математична модель дає змогу провести аналіз та розрахунок методичної похибки вимірювання температури шумовим термометром за умови використання у вхідному колі інструментального підсилювача. Крім того, отриманими результатами можна визначити оптимальні параметри вхідного кола шумового термометра, за яких забезпечується мінімум методичної похибки вимірювання середнього значення квадрата шумової напруги, що пропорційне до вимірюваної температури.

1. Микитин І.П., Стадник Б.І. Проблеми створення вторинної апаратури у шумовій термометрії // Вимірювальна техніка та метрологія: За матеріалами 8-ї Міжнародної конференції "Температура– 2003", 2003. – №64. – С.99–105. 2. Саватеев А.В. Шумовая термометрия. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987, – 132с. 3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. Москва, "МИР", 1982. – 466 с.. 4. Микитин І.П., Стадник Б.І., Дорожовець М.М. Математична модель шумового термометра на основі кореляційного підсилювача. // Вимірювальна техніка та метрологія. 2000. – №57. – С.63–66. 5. Математическое моделирование систем связи: учеб. пособие / К. К. Васильев, М. Н. Служивый. – Ульяновск: УЛГТУ, 2008. – 170 с. 6. Нестеренко Б.К. Интегральные операционные усилители: Справочное пособие по применению. – М.: Энергоиздат, 1982. – 128 с.