

# ОПРАЦЮВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

УДК 621.3

## СТРУКТУРНА КОРЕКЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ТЕРМОШУМОВОГО СИГНАЛУ

© Богдан Стадник<sup>1,2</sup>, Андрій Озгович<sup>1</sup>, Ігор Ліхновський<sup>1</sup>, Тетяна Залуцька<sup>1</sup>, 2005

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна  
<sup>2</sup>Ряшівська політехніка, Ряшів,  
вул. В. Поля, 2, Польща

*Запропоновано структурні схеми шумових термометрів, що реалізують корекцію похибки, спричинену спотворенням шумового сигналу під час передачі до вторинного вимірювального пристрою. Досягнуто розширення смуги пропускання шумового термометра. Наведено результати дослідження роботи запропонованих схем.*

*Предложены структурные схемы шумовых термометров, которые реализуют коррекцию погрешности, вызванной искажением шумового сигнала при передаче к вторичному измерительному устройству. Достигнуто расширение полосы пропускания шумового термометра. Приведены результаты исследования работы предложенных схем.*

*The structures of noise thermometers, which will realize correction of the error caused by distortion of noise signal at the transmission to the second measuring device, are offered. Expansion of bar of admission of noise thermometer is attained. The results of research of work of the offered charts are resulted.*

Розширення смуги частот шумового сигналу в шумовому термометрі прямого вимірювання дає змогу підвищити рівень інформативного сигналу, швидше зібрати інформацію про його середньоквадратичне значення, що пропорційне до вимірюваної температури, і тим самим зменшити час вимірювання. Але розширення смуги робочих частот накладає жорсткі вимоги до ефективності передачі шумового сигналу від первинного перетворювача до вторинних засобів вимірювання.

Для наочності досліджувану систему, що складається з первинного перетворювача, лінії зв'язку, вхідних кіл вимірювального блока, оскільки вона є лінійною, можна подати через передавальні функції вузлів.

Вихідна напруга цієї системи вимірюється шумовим термометром

$$U_{BX}(p, T_1) = U_{Ш}(p, T_X) \cdot H_{ПП}(p, T_X) \times H_{Л}(p, T(l)) \cdot H_{ВХ}(p, T_1), \quad (1)$$

де  $U_{Ш}(p, T_X)$  – зображення шумового сигналу, що генерується термошумовим перетворювачем;  $U_{ВХ}(p)$  –

зображення шумового сигналу, що вимірюється шумовим термометром;  $H_{ПП}(p, T_X)$  – передавальна функція первинного перетворювача;  $H_{Л}(p, T(l))$  – передавальна функція лінії зв'язку;  $H_{ВХ}(p)$  – передавальна функція вхідних кіл вимірювального блока.

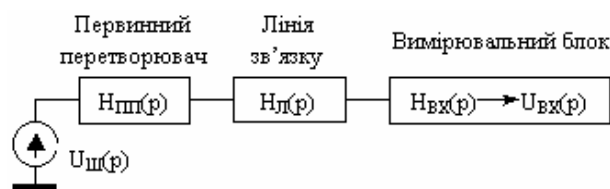


Рис. 1. Канал передачі шумового сигналу

Як видно з (1), шумова напруга, що надходить на вхід вимірювального блока шумового термометра, не дорівнює шумовій напрузі, що генерується термошумовим перетворювачем, і

$$U_{ВХ}(p) \neq U_{Ш}(p) \quad (2)$$

Якраз ця нерівність і спричиняє появу додаткової похибки при визначенні температури за формулою Найквіста

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U_{ш}^2(t) dt = 4kT \Delta f R. \quad (3)$$

Для зменшення складової похибки, спричиненої передаванням вимірювального сигналу, запропоновано ввести в схему шумового термометра додаткову ланку, передавальна функція якої забезпечила б рівність вхідної напруги вимірювального блока шумового термометра і напруги, що генерується первинним перетворювачем і визначається за формулою Найквіста

$$U_{ВХ}(p) \cdot H_K(p) = U_{ш}(p) \quad (4)$$

Тобто,

$$H_K(p) = \frac{1}{H_{ПП}(p) \cdot H_{ЛЗ}(p)}. \quad (5)$$

Для реалізації такої функції запропоновано ввести у вхідні кола вимірювального блока шумового термометра коректуючу ланку (рис. 2), що дало б змогу вирівняти передавальну функцію каналу передачі шумового сигналу, і тим самим зменшити вплив параметрів первинного перетворювача та лінії зв'язку на результат вимірювання температури.

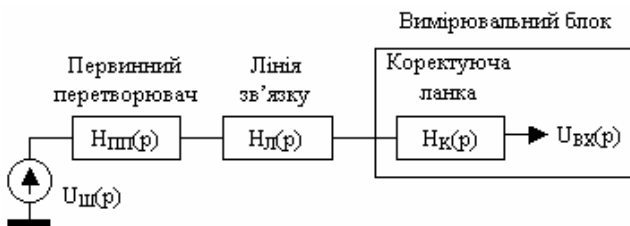


Рис.2. Структурна схема вимірювального тракту шумового термометра з введеною коректуючою ланкою

Коректуюча ланка повинна реалізувати функцію

$$U_{ВХ}(p) \cdot \frac{1}{H_{ПП}(p) \cdot H_{ЛЗ}(p)}. \quad (6)$$

Цього можна досягти, включивши елементи з передавальними функціями  $H'_{ПП}(p)$  та  $H'_{ЛЗ}(p)$  в зворотний зв'язок попереднього підсилювача.

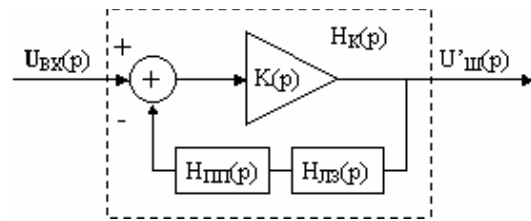


Рис. 3. Включення коректуючих елементів

Передавальна функція такої системи

$$U'_{ш}(p) = U_{ВХ}(p) \cdot \frac{K(p)}{1 + K(p) \cdot H'_{ПП}(p) \cdot H'_{ЛЗ}(p)}, \quad (7)$$

де

$$U_{ВХ}(p, T_1) = U_{ш}(p, T_X) \cdot H_{ПП}(p, T_X) \cdot H_{ЛЗ}(p, T(l)) \quad (8)$$

при

$$\begin{aligned} H_{ПП}(p, T_X) &= H'_{ПП}(p); \\ H_{ЛЗ}(p, T(l)) &= H'_{ЛЗ}(p); \\ K(p) &\gg 1; \end{aligned} \quad (9)$$

з виразів (7) і (8) отримаємо

$$U'_{ш}(p) = U_{ш}(p, T_X) = 4kT \Delta f R. \quad (10)$$

Тобто сигнал, що надходить на вхід вимірювального блока шумового термометра, дорівнює шумовій напрузі, що генерується первинним перетворювачем і визначається за формулою Найквіста.

Метод дає хороші результати у разі виконання умов (9), тобто при якісній реалізації еквівалентних схем первинного перетворювача та лінії зв'язку, що використовуються при створенні схеми корекції.

Реалізація коректуючої ланки була здійснена введенням пасивної ланки, що має наведену вище передавальну характеристику, в коло зворотного зв'язку вхідного підсилювача вторинного засобу вимірювання. Отже, фізична модель, що відтворює запропонований спосіб структурної корекції, зображена на рис. 4.

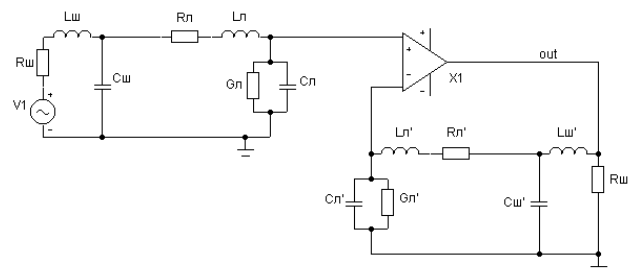


Рис. 4. Еквівалентна схема структурного способу корекції

Отримані передавальні характеристики інформаційного тракту без коректуючої ланки та з коректуючою ланкою зображені на рис.5 та рис.6. Введення запропонованої коректуючої ланки дало змогу збільшити значення верхньої частоти робочого діапазону до 1,2 МГц.

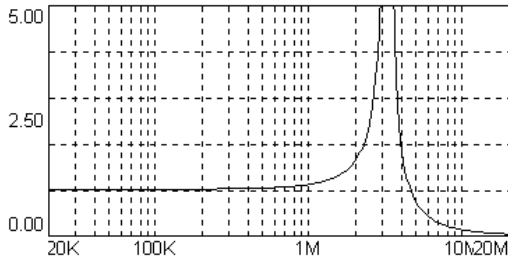


Рис. 5. Передавальна характеристика інформаційного каналу без коректуючої ланки

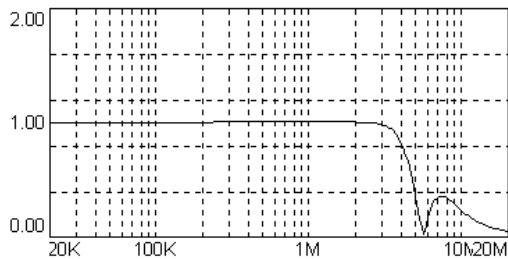


Рис. 6. Передавальна характеристика інформаційного каналу з коректуючою ланкою

Для підтвердження отриманих результатів моделювання було практично реалізовано вхідний підсилювач з розглянутою коректуючою ланкою

Для підвищення стійкості схеми було введено додаткову ланку, яка забезпечує загасання шумового сигналу на частотах, вищих за частоту вимірювання (рис. 7). Доцільність введення такої ланки підтверджують і результати моделювання, оскільки в області частот більше за 2 МГц спостерігається значна нерівномірність АЧХ (рис. 6).

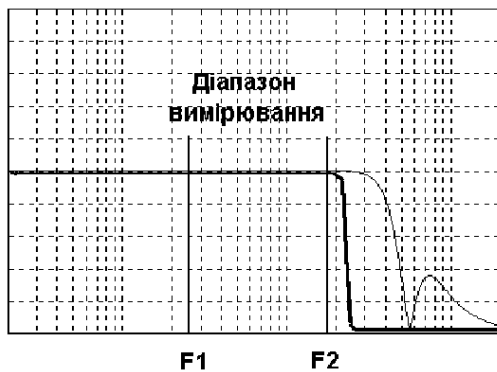


Рис. 7. Принцип роботи обмежувальної ланки

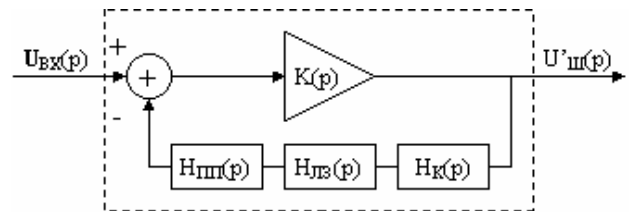


Рис. 8. Структурна схема вхідного підсилювача з обмежувальною ланкою

Структурна схема вхідного підсилювача з такою обмежувальною ланкою наведена на рис. 8. Передавальну функцію обмежувальної ланки визначаємо з умови (11)

$$H_{пп}(p) \cdot H_{лз}(p) \times \frac{K(p)}{1 + K(p) \cdot H_{пп}(p) \cdot H_{лз}(p) \cdot H_{к}(p)} \approx 1, \quad (11)$$

де  $H_{пп}(p, T_x)$  – передавальна функція первинного перетворювача;  $H_{лз}(p, T(l))$  – передавальна функція лінії зв'язку;  $H_{вх}(p)$  – передавальна функція вхідних кіл вимірювального блока шумового термометра;  $H_{к}(p)$  – передавальна функція обмежувальної ланки;  $K(p)$  – коефіцієнт підсилення розімкнутого вхідного підсилювача.

Прийmemo, що загальна передавальна функція (11) системи, схема якої зображена на рис. 8, у всій смузі вимірюваних частот повинна дорівнювати одиниці, а вище за граничну частоту – дорівнювати нулю (рис. 9)

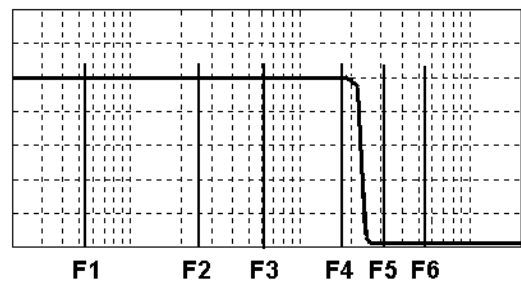


Рис. 9. Визначення передавальної функції коректуючої ланки

При відомих передавальних функціях  $H_{пп}(p, T_x)$ ,  $H_{лз}(p, T(l))$ ,  $H_{вх}(p)$  первинного перетворювача, лінії зв'язку та вхідних кіл вимірювального блока шумового термометра запишемо систему рівнянь для визначення коефіцієнтів апроксимуючого полінома передавальної характеристики обмежувальної ланки.

На рис. 10 зображено схему, моделювання якої виконувалось для дослідження впливу обмежувальної ланки.

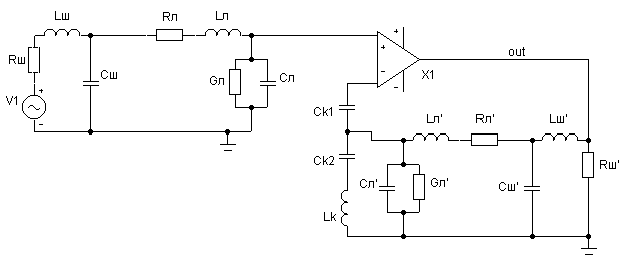


Рис. 10. Схема для дослідження обмежувальної ланки

Результати дослідження подано на рис. 11.

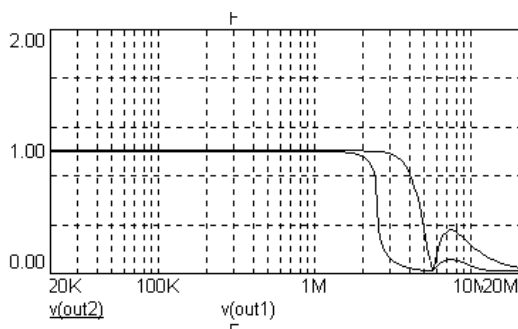


Рис. 11. Характеристики обмежувальної ланки

Видно, що при введенні додаткової ланки частотний спектр шумового сигналу різко обмежений на частоті, вищій за граничну частоту вимірювання.

Експериментальні дослідження структурної корекції виконувались як без врахування первинного перетворювача, так і з його врахуванням. В першому випадку коректуюча ланка відтворювала характеристику лише лінії зв'язку, на вхід якої подавався тестовий сигнал в діапазоні частот до 10 МГц. Контроль амплітуди тестового сигналу здійснювався за допомогою вольтметра типу ВЗ-49. Для виключення систематичної похибки вимірювання амплітуди контроль здійснювався як на вході вимірювального тракту, так і на його виході. Коефіцієнт передачі на кожній частоті визначався як відношення відповідних результатів вимірювання. Оскільки коефіцієнт передачі був заданим близьким до одиниці, то значення тестового сигналу на вході і виході мали близькі значення, що при визначенні коефіцієнта передачі дало змогу значно зменшити вплив систематичної складової похибки

вимірювання. Результати експериментальних досліджень наведено на рис. 12.

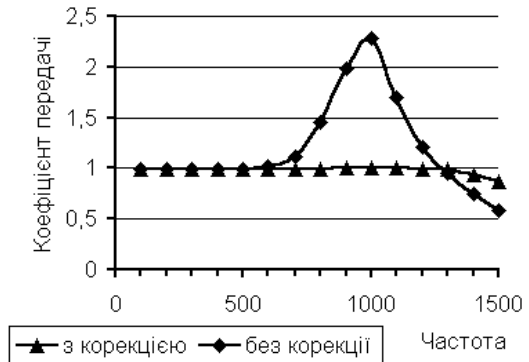


Рис. 12. Результати експериментальних досліджень коректуючих схем

У разі використання коректуючої ланки з урахуванням передавальної характеристики первинного перетворювача на вхід кабеля подавалися тестові сигнали, амплітуди яких для кожного значення частоти співвідносились між собою згідно з АЧХ первинного перетворювача, що була отримана на основі визначеної фізичної моделі. Результати досліджень наведено на рис. 12.

Отже, використання структурної корекції характеристик передачі термошумового сигналу дає змогу розширити смугу робочих частот інформаційного тракту до 1,2 МГц при інтегральній нерівномірності передавальної характеристики не більше за 0,5 дБ.

1. Райс С.О. Теория флуктуационных шумов // Теория передачи электрических сигналов при наличии помех. – М., 1953.
2. Геращенко О.А., Гордов Н.А., Лах В.И., Стаднык Б.И., Ярышев Н.А. Температурные измерения: Справочник. – К., 1984.
3. Ван дер Зил А. Шум. Источники, описание, измерение. – М., 1973.
4. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования MICRO-CAP V. – М., 1997.
5. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. М., 1996.
6. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC / Под ред. У.Томпкинса, Дж. Уэбстера. – М., 1992.