



УКРАЇНА

(19) UA (11) 25389 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G01K 7/30МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) ШУМОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ

1

(21) u200702680

(22) 14.03.2007

(24) 10.08.2007

(46) 10.08.2007, Бюл. № 12, 2007 р.

(72) Коваль Геннадій Михайлович, Скрипник Юрій  
Олексійович, Величко Антон Сергійович(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Шумовий вимірювач температури, що містить термошумовий резистивний перетворювач, два смугових фільтри, два підсилювачі напруги, перемножувач, входи якого з'єднані через підсилювачі напруги з виходами смугових фільтрів, фільтр нижніх частот, підключений до виходу перемножувача, аналого-цифровий перетворювач, мікро-ЕОМ, вхід якого з'єднаний з аналого-цифровим перетворювачем, і цифровий індикатор, підключений до виходу мікро-ЕОМ, який відрізняється тим, що до нього введені термостат, зразковий резистор, розміщений в термостаті, зразковий конденсатор, диференціальний підсилювач, два розподільних конденсатори, розв'язувальний блок на операційному підсилювачі і з резистором в ланцюзі негативного зворотного зв'язку, триканальний і двоканальний мультиплексори і цифро-аналоговий перетворювач, вхід якого з'єднано з другим виходом мікро-ЕОМ, вихід з'єднано з виводами термошумового резистивного перетворювача, зразкового резистора, зразкового конденсатора, які, в свою чергу, з'єднані разом, та з одним з входів диференційного підсилювача через один розподільний конденсатор, інші виводи термошумового резистивного перетворювача, зразкового резистора і зразкового конденсатора з'єднані кожен окремо з входами триканального мультиплексора, вихід якого з'єднано з другим входом диференційного підсилювача через другий розподільний конденсатор і безпосередньо з входом розв'язувального блока, вихід якого з'єднано з одним з входів двоканального мультиплексора, другий вхід якого з'єднано з виходом фільтра нижніх частот, а вихід з'єднаний з входом аналого-цифрового перетворювача, керуючі входи триканального і двоканального мультиплексорів підключені до третього і четвертого виходів мікро-ЕОМ, а вихід диференційного підсилювача з'єднаний з входами смугових фільтрів.

2

ного зворотного зв'язку, триканальний і двоканальний мультиплексори і цифро-аналоговий перетворювач, вхід якого з'єднано з другим виходом мікро-ЕОМ, вихід з'єднано з виводами термошумового резистивного перетворювача, зразкового резистора, зразкового конденсатора, які, в свою чергу, з'єднані разом, та з одним з входів диференційного підсилювача через один розподільний конденсатор, інші виводи термошумового резистивного перетворювача, зразкового резистора і зразкового конденсатора з'єднані кожен окремо з входами триканального мультиплексора, вихід якого з'єднано з другим входом диференційного підсилювача через другий розподільний конденсатор і безпосередньо з входом розв'язувального блока, вихід якого з'єднано з одним з входів двоканального мультиплексора, другий вхід якого з'єднано з виходом фільтра нижніх частот, а вихід з'єднаний з входом аналого-цифрового перетворювача, керуючі входи триканального і двоканального мультиплексорів підключені до третього і четвертого виходів мікро-ЕОМ, а вихід диференційного підсилювача з'єднаний з входами смугових фільтрів.

Корисна модель належить до шумової термометрії і може бути використана для вимірювання температури термошумовим резистивним перетворювачем з деградуєючим опором, переважно для контролю агресивного температурного середовища.

Для виключення впливу нестабільності електричного опору термошумового резистивного перетворювача на значення температури використовують шумовий вимірювач температури [див. Саватеев А.В. Шумовая термометрия - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987, -С.93-95], який містить термошумовий резистивний перетворювач, передпідсилювач напруги, перетворювач струму в напругу, смуговий фільтр, підсилювач напруги, детектор і інтегратор, два перемикача, два запам'ятовуючі пристрої і перемножувачий пристрій з реєстратором.

Завдяки перемноженню струму термошумового резистивного перетворювача з його напругою виключається вплив нестабільності опору термошумового перетворювача на результат вимірю-

вання температури. Але ж власні шуми перетворювача напруги і перетворювача струму в напругу, а також неминучий дрейф напруги зміщення перемножувача пристрою не дозволяють реалізувати потенціальну точність відомого шумового вимірювача.

Відомий шумовий вимірювач температури [авт. свід. СРСР №1362951, МПК G01K7/30, 1986], який містить термошумовий резистивний перетворювач, зразковий резистор, два підсилювачі напруги, перемножувач, аналого-цифровий перетворювач, суматор, перетворювач опір - код, комутатори, ключі, цифровий ділильний пристрій, реєстратор та блок керування.

Завдяки цифровому ділильному пристрою виключається вплив нестабільності опору термошумового резистивного перетворювача на результат вимірювання температури. Але вимірювач має невисоку точність через вплив похибок перетворення опору термошумового резистивного перетворювача, особливо в екстремальних температурних умовах, в напругу ділильного пристрою, а

(13) U

(11) 25389

(19) UA

також через важкість збереження на заданому рівні опору зразкового резистора.

Відомий також шумовий вимірювач температури [авт. свід. СРСР №1732186, МПК G01K7/30, 1992], що містить термошумовий резистивний перетворювач, два смугових фільтри, два підсилювачі напруги, перемножувач, входи якого з'єднані через підсилювачі напруги з виходами полосових фільтрів, фільтр нижніх частот, підключений до виходу перемножувача, аналого-цифровий перетворювач, вхід якого з'єднаний з аналого-цифровим перетворювачем, мікро-ЕОМ і цифровий індикатор, підключений до виходу мікро-ЕОМ.

Крім того, у склад шумового вимірювача температури входять перетворювач струму в напругу, джерело еталонної постійної напруги, цифровий суматор та формувач керуючих сигналів.

Однчасне підключення до термошумового резистивного перетворювача підсилювача напруги з високоомним входом і перетворювача струму в напругу з низькоомним входом викликає великі викривлення в значеннях шумового струму та напруги, що не дозволяє одержати високу точність виміру температури. Крім того, перемножувач у відомій схемі не виключає впливу корельованих шумів підсилювачів напруги і смугових фільтрів на результат вимірювання температури, що також знижує достовірність контролю температури. Джерелом похибки залишається часова та температурна нестабільність параметрів підсилювачів і смугових фільтрів, що обумовлюють крутизну перетворення температури, яка вимірюється, в цифровий код.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такого шумового вимірювача температури, в якому шляхом введення нових елементів та зв'язків між ними забезпечило б виключення похибок, що в свою чергу дозволить з більш високою точністю вимірювати температуру в умовах деградації опору термошумового резистивного перетворювача і нестабільності параметрів підсилювачів, фільтрів та самого перемножувача.

Поставлена задача досягається тим, що в шумовий вимірювач температури, що містить термошумовий резистивний перетворювач, два смугових фільтри, два підсилювачі напруги, перемножувач, входи якого з'єднані через підсилювачі напруги з виходами смугових фільтрів, фільтр нижніх частот, підключений до виходу перемножувача, аналого-цифровий перетворювач, мікро-ЕОМ, вхід якої з'єднаний з аналого-цифровим перетворювачем і цифровий індикатор, підключений до виходу мікро-ЕОМ, згідно корисної моделі, в нього введені термостат, зразковий резистор, розміщений в термостаті, зразковий конденсатор, диференціальний підсилювач, два розподільних конденсатора, розв'язуючий блок на операційному підсилювачі і з резистором в ланцюзі негативного зворотного зв'язку, триканальний і двоканальний мультиплексори та цифро-аналоговий перетворювач, вхід якого з'єднано з другим виходом мікро-ЕОМ, вихід з'єднано з виводами термошумового резистивного перетворювача, зразкового резистора, зразкового конденсатора, що в свою чергу з'єднані разом, та з одним із

входів диференційного підсилювача через один розподільний конденсатор, інші виводи термошумового резистивного перетворювача, зразкового резистора і зразкового конденсатора, з'єднані кожен окремо з входами триканального мультиплексора, вихід якого з'єднано з другим входом диференційного підсилювача через другий розподільний конденсатор і безпосередньо з входом розв'язуючого блока, вихід якого з'єднано з одним із входів двоканального мультиплексора, другий вхід якого з'єднано з виходом фільтра нижніх частот, а вихід з'єднано з входом аналого-цифрового перетворювача, керуючі входи триканального і двоканального мультиплексорів підключені до третього і четвертого виходів мікро-ЕОМ, а вихід диференційного підсилювача з'єднаний з виходами смугових фільтрів.

Введення в схему шумового вимірювача температури зразкового резистора, розміщеного в термостаті, зразкового конденсатора, диференційного підсилювача, двох розподільних конденсаторів, розв'язуючого блока на операційному підсилювачі і резистором в ланцюзі негативного зворотного зв'язку, триканального і двоканального мультиплексорів, цифро-аналогового перетворювача, з'єднаних вказаним способом, дозволяє в різні цикли роботи сформувати на виході перемножувача додаткові напруги, почергова подача яких на розв'язуючий блок через термошумовий резистивний перетворювач, зразковий резистор, зразковий конденсатор і подальша математична обробка в мікро-ЕОМ дозволяє одержати значення температури, яка вимірюється, в цифровому вигляді, скоректоване від дії шумів і перешкод, які діють в підсилювально-перетворюючому тракті, а також дії несталості параметрів підсилювачів, фільтрів, перемножувача і нестабільності опору як самого термошумового перетворювача, так і зразкового, що дозволяє з більш високою точністю вимірювати температуру в умовах деградації параметрів термошумового резистивного перетворювача і нестабільності параметрів вимірювальної схеми.

На кресленні представлена функціональна схема шумового вимірювача температури.

Шумовий вимірювач температури містить термошумовий резистивний перетворювач 1, зразковий резистор 2, розміщений в термостаті 3, триканальний мультиплексор 4, зразковий конденсатор 5, два розподільних конденсатора 6 і 7, диференціальний підсилювач 8, розв'язуючий блок 9 на операційному підсилювачі 10 з резистором 11 в ланцюзі негативного зворотного зв'язку, два смугові фільтри 12 і 13, два підсилювача напруги 14 і 15, перемножувач 16, фільтр 17 нижніх частот, двоканальний мультиплексор 18, аналого-цифровий перетворювач 19, цифро-аналоговий перетворювач 20, мікро-ЕОМ 21 і цифровий індикатор 22.

Виводи термошумового резистивного перетворювача 1, зразкового резистора 2 і зразкового конденсатора 5 з'єднані разом і через розподільний конденсатор 6 з'єднані з одним із входів диференційного підсилювача 8. Другі виводи термошумового резистивного перетворювача 1, зразкового резистора 2 і зразкового конденсатора

5 з'єднані кожен окремо з входами триканального мультимплексора 4.

Вихід мультимплексора 4 з'єднано з другим входом диференційного підсилювача 8 через розподільний конденсатор 7 і безпосередньо з входом розв'язуючого блока 9 на операційному підсилювачі 10 з резистором 11 в ланцюзі негативного зворотного зв'язку. Вихід диференційного підсилювача 8 з'єднано з входами смугових фільтрів 12 і 13, виходи яких через підсилювачі напруги 14 і 15 з'єднані з входами перемножувача 16. Вихід перемножувача 16 з'єднано через фільтр 17 нижніх частот з одним входом двоканального мультимплексора 18, другий вхід якого з'єднаний з виходом розв'язуючого блока 9.

Вихід двоканального мультимплексора 18 з'єднаний через аналого-цифровий перетворювач 19 з входом мікро-ЕОМ 21, до першого виходу якого підключено цифровий індикатор 22. До другого виходу мікро-ЕОМ 21 підключено вхід цифро-аналогового перетворювача 20, вихід якого з'єднано із з'єднаними разом виводами термошумового резистивного перетворювача 1, зразкового резистора 2 та зразкового конденсатора 5. Третій та четвертий виходи мікро-ЕОМ 21 з'єднані з керуючими входами двоканального мультимплексора 18 і триканального мультимплексора 4.

Шумовий вимірювач температури діє таким чином.

В термошумовому резистивному перетворювачі 1, розміщеному в зоні температури  $T_x$ , яка вимірюється, виникає електрична напруга теплових шумів, пропорційна цій температурі. В зразковому резисторі 2, розміщеному в термостаті 3, виникає також електрична напруга теплових шумів, пропорційна фіксованій температурі  $T_0$  термостату 3. Вимірювання температури  $T$  здійснюється на протязі шести циклів роботи мікро-ЕОМ 21.

Під час першого циклу роботи мікро-ЕОМ 21 триканальним мультимплексором 4 підключається до входів диференційного підсилювача 8 першим каналом термошумовий резистивний перетворювач 1 з опором  $R_1$ . Підсилена напруга, яка складається з теплових шумів  $U_{ш}(t)$  та перешкод  $U_n(t)$ , включаючи власні шуми диференційного підсилювача 8, надходить на входи смугових фільтрів 12 і 13. Відфільтровані від низькочастотних та високочастотних перешкод складові шумової напруги підсилюються підсилювачами напруги 14, 15 і перемножуються у перемножувачі 16. Постійна складова перемножених напруг з урахуванням усереднення в фільтрі 17 нижніх частот визначається виразом:

$$U_1 = K_1^2 K_2 K_3 m (\overline{U_{ш}^2} + \overline{U_n^2}) + U_c, \quad (1)$$

де  $K_1$ , - коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача 8;

$K_2$  і  $K_3$  - коефіцієнти підсилення підсилювачів напруги 14 і 15;

$m$  - масштабний коефіцієнт перетворення перемножувача 16 з урахуванням фільтра 17 нижніх частот;

$\overline{U_{ш}^2}$  - дисперсія теплових шумів термошумового резистивного перетворювача 1;

$\overline{U_n^2}$  - дисперсія перешкод та власних шумів диференційного підсилювача 8;

$U_c$  - напруга зміщення нуля перемножувача з урахуванням корельованих шумів підсилювачів напруги 14 і 15.

Напруга  $U_1$  перетворюється в цифровий код за допомогою аналого-цифрового перетворювача 19. Код першого циклу перетворення

$$N_1 = \frac{U_1}{q_1} = \frac{K_1^2 K_2 K_3 m (\overline{U_{ш}^2} + \overline{U_n^2}) + U_c}{q_1} \quad (2)$$

де  $q_1$  - одиниця молодшого розряду аналого-цифрового перетворювача 19.

Код  $N_1$ , запам'ятовується і зберігається в пам'яті мікро-ЕОМ 21.

На час другого циклу роботи мікро-ЕОМ 21 триканальним мультимплексором 4 підключається до диференційного підсилювача 8 другим каналом зразковий резистор 2 з опором  $R_2 = R_1$ , напруга теплового шуму якого -  $U_0(t)$ . Внаслідок виконання аналогічних операцій на виході фільтра 17 нижніх частот формується друга постійна напруга

$$U_2 = K_1^2 K_2 K_3 m (\overline{U_0^2} + \overline{U_n^2}) + U_c, \quad (3)$$

де  $\overline{U_0^2}$  - дисперсія теплових шумів зразкового резистора 2. Код другого циклу перетворення

$$N_2 = \frac{U_2}{q_1} = \frac{K_1^2 K_2 K_3 m (\overline{U_0^2} + \overline{U_n^2}) + U_c}{q_1} \quad (4)$$

Код  $N_2$  також запам'ятовується і зберігається в пам'яті мікро-ЕОМ 21.

Під час третього циклу роботи мікро-ЕОМ 21 триканальним мультимплексором 4 підключається до диференційного підсилювача 8 третім каналом зразковий конденсатор 5, який практично не має дисипативних втрат. Значення ємності зразкового конденсатора вибирається за умови

$$C_0 = \frac{1}{2\pi f R_2} \quad (5)$$

де  $f$  - центральна частота смугових фільтрів 12 і 13.

Завдяки тому, що зразковий конденсатор 5 не має втрат, він сам не створює теплового шуму, а по повному опору (імпедансу) в смузі використовує частот теплового шуму зразковий конденсатор 5 є еквівалентом опору термошумового резистивного перетворювача 1 і зразкового резистора 2

$$\frac{1}{2\pi f C_0} = R_1 = R_2 \quad (6)$$

Тому під час третього циклу роботи мікро-ЕОМ 21, коли триканальним мультимплексором 4 підключається до диференційного підсилювача 8 третім каналом зразковий конденсатор 5 - безшумовий еквівалент зразкового резистора на виході диференційного підсилювача 8, рівень перешкоди та шумів не змінюється, а корисний сигнал відсутній. Постійна складова перемножених шумових напруг з урахуванням усереднення в фільтрі 17 нижніх частот в третьому циклі роботи мікро-ЕОМ

21 визначається тільки власними шумами і перешкодами ( $\overline{U_0^2} = 0$ ):

$$U_3 = K_1^2 K_2 K_3 m U_{\Pi}^2 + U_c \quad (7)$$

Код третього циклу перетворення

$$N_3 = \frac{U_3}{q_1} = \frac{K_1^2 K_2 K_3 m U_{\Pi}^2 + U_c}{q_1} \quad (8)$$

Код  $N_3$  також запам'ятовується і зберігається в пам'яті мікро-ЕОМ 21.

На час четвертого циклу роботи мікро-ЕОМ 21 триканальним мультиплексором 4 знову підключається до входів диференційного підсилювача 8 першим каналом термошумовий резистивний перетворювач 1 з опором  $R_1$ . При цьому двоканальний мультиплексор 18 підключає вхід аналого-цифрового перетворювача 19 до виходу розв'язуючого блоку 9.

На вхід розв'язуючого блоку 9 через термошумовий резистивний перетворювач 1 надходить постійна напруга з виходу цифро-аналогового перетворювача 20. Значення цієї напруги визначається різницею кодом  $N_1 = N_3$ , який виробляється в процесорі мікро-ЕОМ 21:

$$U_4 = (N_1 - N_3) q_2 = \frac{K_1^2 K_2 K_3 m U_{\Pi}^2}{q_1} q_2 \quad (9),$$

де  $q_2$  - одиниця молодшого розряду цифрово-аналогового перетворювача 20.

Коефіцієнт передачі розв'язуючого блоку 9, як відомо, визначається відношенням опору резистора 11 в ланцюзі негативного зворотного зв'язку операційного підсилювача 10 і послідовним опором резистора на вході операційного підсилювача 10. Опір резистора 11 має фіксоване значення  $R_0$ , при цьому коефіцієнт підсилення розв'язуючого блоку 9  $K_4$  стає зворотно пропорційним опору термошумового резистивного перетворювача 1:

$$K_4 = \frac{R_0}{R_1 + \Delta R} \quad (10)$$

де  $\Delta R$  неконтрольовані зміни опору термошумового резистивного перетворювача 1 під час експлуатації.

Вихідна напруга розв'язуючого блоку 9 з урахуванням виразів (9) і (10) досягає значення:

$$U_5 = K_4 U_4 = \frac{R_0}{R_1 + \Delta R} \frac{q_2}{q_1} K_1^2 K_2 K_3 m U_{\Pi}^2 \quad (11)$$

Напруга  $U_5$  перетворюється в цифровий код за допомогою аналого-цифрового перетворювача 19. Код четвертого циклу перетворення

$$N_4 = \frac{U_5}{q_1} = \frac{R_0}{R_1 + \Delta R} \frac{q_2}{q_1^2} K_1^2 K_2 K_3 m U_{\Pi}^2 \quad (12)$$

також запам'ятовується і зберігається в пам'яті мікро-ЕОМ 21. На час п'ятого циклу роботи мікро-ЕОМ 21 триканальним мультиплексором 4 підключається до виходу цифро-аналогового перетворювача 20 другим каналом зразковий резистор 2. Двоканальний мультиплексор 18 залишається в попередньому стані. На вхід розв'язуючого блоку 9 через зразковий резистор 2 надходить постійна напруга з виходу цифро-аналогового перетворю-

вача 20. Значення цієї напруги визначається різницею кодом  $N_2 - N_3$ , який виробляється мікро-ЕОМ 21:

$$U_6 = (N_2 - N_3) q_2 = \frac{K_1^2 K_2 K_3 m U_0^2}{q_1} q_2 \quad (13)$$

Коефіцієнт передачі розв'язуючого блоку 9 при підключенні до входу зразкового резистора 2 з опором  $R_2$  визначається виразом:

$$K_5 = \frac{R_0}{R_2} \quad (14)$$

Вихідна напруга розв'язуючого блоку 9 з урахуванням виразів (13) і (14) прийме значення:

$$U_7 = K_5 U_6 = \frac{R_0}{R_2} \frac{q_2}{q_1} K_1^2 K_2 K_3 m U_0^2 \quad (15)$$

Напруга  $U_7$  перетворюється у цифровий код за допомогою аналого-цифрового перетворювача 19. Код п'ятого циклу перетворення

$$N_5 = \frac{U_7}{q_1} = \frac{R_0}{R_2} \frac{q_2}{q_1^2} K_1^2 K_2 K_3 m U_0^2 \quad (16)$$

також запам'ятовується і зберігається в пам'яті мікро-ЕОМ 21. Під час шостого циклу роботи в мікро-ЕОМ 21 визначається відношення кодів  $N_4$  і  $N_5$

$$\frac{N_4}{N_5} = \frac{\frac{R_0}{R_1 + \Delta R} \frac{q_2}{q_1^2} K_1^2 K_2 K_3 m U_{\Pi}^2}{\frac{R_0}{R_2} \frac{q_2}{q_1^2} K_1^2 K_2 K_3 m U_0^2} = \frac{R_2}{R_1 + \Delta R} \frac{U_{\Pi}^2}{U_0^2} \quad (17)$$

Згідно з формулою Найквіста середній квадрат напруги теплових шумів термошумового резистивного перетворювача визначається виразом:

$$U_{\Pi}^2 = 4K \Delta f (R_1 + \Delta R) T_x \quad (18),$$

де  $K$  - стала Больцмана;

$\Delta f$  - смуга частот, в якій вимірюються теплові шуми;

$R_1 + \Delta R$  - реальний опір термошумового резистивного перетворювача;

$T_x$  - температура термошумового резистивного перетворювача по термодинамічній шкалі в градусах Кельвіна.

Аналогічно, дисперсія теплових шумів зразкового резистора при термодинамічній температурі  $T_0$

$$U_{0\Pi}^2 = 4K \Delta f R_2 T_0 \quad (19)$$

Підставляючи (18) і (19) в вираз (17), одержуємо

$$\frac{N_4}{N_5} = \frac{R_2}{R_1 + \Delta R} \frac{4K \Delta f (R_1 + \Delta R) T_x}{4K \Delta f R_2 T_0} = \frac{T_x}{T_0} \quad (20)$$

звідки температура, яка вимірюється, в градусах Кельвіна:

$$T_x = \frac{N_4}{N_5} T_0 \quad (21).$$

На цифровий індикатор 22 виводиться температура, що вимірюється, в градусах Цельсія:

$$t_x = \left( \frac{N_4}{N_5} T_0 - 273 \right) ^\circ \text{C} \quad (22).$$

Із виразів (21) і (22) бачимо, що результат вимірювання не залежить від ступеня деградації термошумового резистивного перетворювача ( $\Delta R$ ), від фактичної нерівності опорів термошумового резистивного перетворювача і зразкового резистора ( $R_1 \approx R_2$ ), а також нестабільності опору самого зразкового резистора. Крім цього, на результат вимірювання не впливає нестабільність коефіцієнту підсилення диференційного підсилювача ( $K_1$ ), обох підсилювачів напруги ( $K_1$ , і  $K_3$ ), масштабного коефіцієнту перемножувача ( $m$ ), а також рівень їх власних шумів і перешкод. Не впливає також нестабільність смуги пропускання смугових фільтрів ( $\Delta f$ ), а також обмежена розв'язувальна здатність аналого-цифрового ( $q_1$ ) і цифро-аналогового ( $q_2$ ) перетворювачів.

Результат вимірювання визначається тільки стабільністю температури зразкового резистора ( $T_0$ ) і розрядністю мікро-ЕОМ.

Таким чином, запропоноване схемо-технічне рішення шумового вимірювача температури забезпечує високу точність вимірювання і забезпечує зниження вимог до стабільності термошумового резистивного перетворювача, зразкового резистора і до електронних елементів вимірювальної схеми.

Моделювання запропонованої структури шумового вимірювача температури на ЕОМ підтвер-

дило виключення прогресуючої похибки вимірювання від неконтрольованих змін опору термошумового резистивного перетворювача в межах до  $\pm 30\%$  при номінальному значенні опору в  $1\text{кОм}$ .

Аналогічні наслідки одержані і від нестабільності коефіцієнту підсилення на  $\pm 25\%$ . При цьому приймалась центральна частота смугового фільтра рівною  $75\text{кГц}$  зі смугою пропускання теплових шумів  $\pm 25\text{кГц}$ . Діапазон вимірюємих температур при моделюванні приймався від  $300$  до  $1500\text{К}$ .

Для зменшення випадкової складової похибки від статистичних властивостей теплового шуму час усереднення на виході перемножувача вибирався до  $3$  секунд, що знизило вказану похибку до  $\pm 0,1\text{К}$ .

Інваріантність до власних шумів дозволяє реалізувати вимірювальну схему на недорогих широкополосних операційних підсилювачах типу 140 УД1, а перемножувач реалізувати на мікросхемі КМ525 ПС3А.

Підвищення перешкодозахищеності забезпечено аналого-цифровим перетворювачем інтегруючого типу на мікросхемі КР572ПВ2. Обробка результатів проміжних перетворень і одержання цифрового відліку температури проводилися на персональній ЕОМ в пакеті програм "Mat CAD".

