

$$c_{j-j}(r) = [1 + s_{j-j}(r)] \exp\left(-\frac{\varphi_{j-j}(r)}{kT}\right) - s_{j-j}(r) - 1; \quad (7)$$

$$c_{i-j}(r) = [1 + s_{i-j}(r)] \exp\left(-\frac{\varphi_{i-j}(r)}{kT}\right) - s_{i-j}(r) - 1.$$

Тут $s_{i-j}(r) = g_{i-j}(r) - 1 - c_{i-j}(r)$, а фур'є – образи функцій $s_{i,j}(r)$ та $c_{i,j}(r)$ перебувають між собою згідно з [10], в такій залежності:

$$\begin{aligned} s_{i-i}(k) &= A[c_{i-i}(k) - x_j c_{i-i}(k) c_{j-j}(k) + x_j c_{i-j}(k)] - c_{i-i}(k), \\ s_{j-j}(k) &= A[c_{j-j}(k) - x_i c_{i-i}(k) c_{j-j}(k) + x_i c_{i-j}^2(k)] - c_{j-j}(k), \quad (8) \\ s_{i-j}(k) &= c_{i-j}(k)(A - 1). \end{aligned}$$

Тут $A = [1 - x_i c_{i-i} - x_j c_{j-j} + x_i x_j (c_{i-i} c_{j-j} - c_{i-j}^2)]^{-1}$.

7. Розв'язування:

– системи рівнянь (7) та (8) проводимо ітераційним методом.

Перший цикл:

1) Із залежності (8) визначаємо функції $s_{i,j}(k)$.

2) Зворотним фур'є-перетворенням визначаємо функції $s_{i,j}(r)$.

3) Із залежності (7) визначаємо функції $c_{i,j}(r)$.

4) Фур'є-перетворенням визначаємо функцію $c_{i-j}(k)$.

Для наступного циклу вихідною є функція $s_2(r) = 1/2[s_0(r) + s_1(r)]$, де $s_0(r)$ та $s_1(r)$ – функції, відповідно, до і після ітерації. Збіжність ітерацій визначається

досягненням заздалегідь заданої величини Δ_{min} різниці функцій $s_0(r)$ та $s_1(r)$.

Отже, отримавши значення функцій $s_{i,j}(r)$ та $c_{i,j}(r)$, остаточно вираховуємо відносну ФРПА $g_{i-j}(r)$ та структурний чинник $Q(k)$:

$$g_{i-j}(r) = 1 + s_{i-j}(r) + c_{i-j}(r),$$

$$Q(k) = 1 + \frac{1}{\Omega} \int_0^{\infty} 4\pi r^2 [g(r) - 1] \frac{\sin(kr)}{kr} dr.$$

Результати розрахунку, що подані на рис. 2, добре узгоджуються (відхилення не перевищують 10 %) з експериментально отриманими в роботі [11].

1. Шахпаронов М.И. Введение в молекулярную теорию растворов. М., 1956. 2. Физико-химические основы металлургических процессов / А.А. Жуховицкий, Д.К. Белащенко, В.А. Григорян и др. М., 1973. 3. Крокстон К. Физика жидкого состояния / Пер. с англ. М., 1978. 4. Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел. Ч. 2. М., 1983. 5. Хейне В., Коэн М., Уэйр Д. Теория псевдопотенциала. М., 1973. 6. Ватолин Н.А., Пастухов Э.А. Дифракционные исследования строения высокотемпературных расплавов. М., 1980. 7. Межчастичное взаимодействие в жидких металлах / В.Ф. Ухов, Н.А. Ватолин, Гельчинский Б.Р. и др. М., 1979. 8. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. М., 1981. 9. Харьков Е.И., Лысов В.И., Федоров В.Е. Физика жидких металлов. К., 1979. 10. Белащенко Д.К. // Изв. АН СССР. Металлы, 1982, №1, С. 29 – 38. 11. Lamparter P., Sperl W., Nold E., e.a. // In: Rapidly Quenched Metals IV, ed. T. Masumoto, K.Suzuki, The Japan Institute of Metals, Sendai, 1982. Pp.343.

УДК 536.532

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧА В ДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ

© Володимир Столярчук, 2000

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Інформаційно-вимірювальна техніка”, вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Термоперетворювач подається як чотириполюсник. Запропоновано шлях визначення елементів матриці чотириполюсника.

Термопреобразователь представлено как четырехполюсник. Предложен путь определения элементов матрицы четырехполюсника.

Thermotransducer as fourpoled unit is presented and the matrix elements values determination ways are proposed.

Розглянемо резистивний термоперетворювач. Збурюючою синтетичною дією на нього є температура середовища та електричний струм, що протікає в чутливому елементі.

Припустимо, що в початковий момент розподіл теплових величин на поверхні термоперетворювача і чутливого елементі є рівномірним, і термоперетворювач загалом має температуру, яка дорівнює температурі середовища (нульові початкові умови).

Нестационарний процес теплопереносу між зовнішньою поверхнею термоперетворювача і його чутливим елементом в операторній формі запишемо у вигляді

$$\begin{bmatrix} T_1(S) \\ P_1(S) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(S) & A_{12}(S) \\ A_{21}(S) & A_{22}(S) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_2(S) \\ P_2(S) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $T_1(S)$ – операційні зображення зміни температури та теплового потоку на поверхні термоперетворювача (вхідна сторона); $T_2(S)$, $P_2(S)$ – операційне зображення зміни температури та теплового потоку чутливого елемента (вихідна сторона).

Передавальні функції не залежать від характеру зміни в часі температури вимірювального середовища і потужності в чутливому елементі, а визначаються тільки конструктивними особливостями та теплофізичними характеристиками матеріалів, з яких виготовлений термоперетворювач. Оскільки ми розглядаємо теплоперенос всередині термоперетворювача, то передавальні функції не залежать від умов теплообміну на поверхні, тобто вони властиві саме термоперетворювачу.

Вираз (1) є рівнянням теплового чотириполюсника, в якому вхідна сторона (одна пара полюсів) відповідає зовнішній поверхні термоперетворювача, а вихідна сторона (друга пара полюсів) – чутливому елементу, де здійснюється перетворення температури в електричний сигнал (див. рисунок).

Термоперетворювач як чотириполюсник є пасивним, оскільки не має керованих джерел тепла. Чутливий елемент не можна розглядати як кероване джерело тепла, оскільки виділення тепла в чутливому елементі можна вважати енергетичним впливом на термопере-



Чотириполюсна модель термоперетворювача

творювач з боку вторинного приладу. Термоперетворювач як чотириполюсник є лінійним, тому що зміни температури під час визначення параметрів чотириполюсника є достатньо малими (одиниці кельвінів), тому можна припустити, що теплофізичні властивості матеріалів термоперетворювача є постійними. Тому в даному випадку є справедливою умова зворотності.

$$A_{11}(S)A_{22}(S) - A_{12}(S)A_{21}(S) = 1 \quad (2)$$

Знайдемо складові динамічної похибки резистивного термоперетворювача, що визначаються тільки його конструкцією, для чого розглянемо найбільш типові режими роботи термоперетворювача.

У разі миттєвої зміни температури вимірювального середовища із (2) маємо:

$$T_2(S) = \frac{T_1(S)}{A_{11}(S)} - \frac{A_{12}(S)}{A_{11}(S)} P_2(S) \quad (3)$$

За умови, що термоперетворювач живиться постійним за визначенням струмом, розсіювана в ньому потужність становить

$$P_2(\tau) = I^2 \cdot R_0 \{1 + \beta [T_C + T_2(\tau)]\} \quad (4)$$

Зміною потужності $P_2(\tau)$ при зміні температури чутливого елемента в динамічному режимі можна знехтувати, тому що зміна встановленої температури від нагріву робочим струмом є досить малою $\Delta T_1 \ll T_1(0)$ чи $\Delta T_1 \ll T_2(\infty)$, тобто $P_2(I) \rightarrow 0$. Тому динамічну похибку можна записати

$$\Delta T_1(S) = T_1(S) - T_2(S) = T_1(S) \left[1 - \frac{1}{A_{11}(S)} \right] \quad (5)$$

Наступним режимом роботи термоперетворювача може бути миттєве стрибкоподібне збільшення потужності в чутливому елементі. Прийmemo $T_1(S)=0$, $P_2(\tau < 0) \ll P_2(0)$. Цей режим є визначальним при обчисленні похибки термоперетворювача в імпульсному режимі живлення. З урахуванням напрямку теплового потоку (див. рисунок), згідно з (3) визначимо динамічну похибку

$$\Delta T_2(S) = \frac{A_{12}(S)}{A_{11}(S)} P_2(S) \quad (6)$$

Як виходить з (3), (5), (6) дослідження впливу конструкції термоперетворювача як неінформативного фактора зводиться до визначення передавальних функцій – елементів матриці (1). Елементи матриці можуть бути визначені з режимів неробочого ходу і короткого замикання на двох сторонах, або іншими режимами, що функціонально зв'язують збурення з реакцією

чотириполюсника. Отже, необхідно знайти перехідні процеси і умови, які відповідають за визначення елементів матриці. Особливістю роботи термоперетворювача як чотириполюсника є те, що вихідна сторона, чутливий елемент, у всіх випадках знаходиться в режимі неробочого ходу. Всі інші режими означали би, що в чутливому елементі існує втрата потужності, витікання тепла, що фізично не може бути здійснено. Режим короткого замикання на вхідній стороні, тобто на поверхні термоперетворювача, означає, що температура середовища дорівнює температурі поверхні, тобто опір тепловіддачі дорівнює нулеві. Режим неробочого ходу на вхідній стороні практично неможливо здійснити, це означає, що з поверхні термоперетво-

рювача відсутній потік тепла при виділенні потужності в чутливому елементі. У такий спосіб визначити елементи матриці, подавши термоперетворювач в цілому як чотириполюсник, є неможливим. Розв'язати цю задачу є можливим двома іншими шляхами. Перший шлях – це подання складових частин перетворювача окремими чотириполюсниками і другий шлях – це експериментальний, при ньому дуже важливою є методика експериментального визначення матриці термоперетворювача.

1. Гарднер М. Ф., Бернс Дж. Л. Переходные процессы в линейных системах: Пер. с англ. М., 1961. 2. Бардило В.И. Моделирование термометра сопротивления электрическим четырехполюсником // Измерит. техника, 1973, № 3.

УДК 536

РОЗРОБЛЕННЯ СВІТЛОВИДНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПРОЦЕСІВ

© Вольдемар Вуйцік, Зенон Готра, Анджей Смоляж, Анджей Котура, Павел Комада, 2000

Люблінська політехніка, вул. Надбистрицька, 38, Люблін, Польща
Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Електронні прилади”,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Описано конструкцію світловодного сенсора, призначеного для контролю процесів згоряння. Розглянуто основні проблеми, що виникають під час пуску котла. Визначено концепцію сенсора для вимірювань кількості вугільного пилу, що доводиться до пальника.

Описана конструкция световодного сенсора, предназначенного для контроля процессов сгорания. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при запуске котла. Определена концепция сенсора для измерения количества угольной пыли, которое подводится к горелке.

In this work the design of fiber light guide sensor for combustion process control is described. The basic problem, which arise at the time of a boiler starting process are considered. The design of the sensor is fixed for measuring of coal dust quantity, which is provided to the burner.

Технологія низькоемісійного згоряння вимагає наявності відповідного оснащення кожного з пальників, а саме приладів, призначених для контрольних вимірювань, що пов'язано зі зростанням кількості сигналів, які керують пальником, порівняно з традиційною технологією згоряння, а також меншими і допустимими змінами цих сигналів. Особливо важливим є визначення кількості вугільного пилу, що надходить до пальника. Дотепер застосовували непрямі вимірювання параметрів, пропорційних до навантаження млина і млинового вентилятора. Точність цих вимірювань можна вважати оцінною. Враховуючи те, що один млин обслуговує кілька пальників, розподіл пилу між

окремими пальниками невідомий. Прилади автоматичного регулювання, що застосовують при низькоемісійному згорянні для ефективного проведення процесу, допускають 10% відхилення кількості пилу поміж окремими пальниками. На практиці виявляється, що дотримання таких вимог існуючими методами вимірювань є неможливим. Проведені дослідження показали, що нерівномірність кількості пилу, що доводиться до окремих пальників, досягає навіть 40%. Це, звичайно, має вплив на зростання емісії токсичних речовин, зниження коефіцієнта корисної дії і зростання втрат, пов'язаних з недопалюванням. З метою отримання кращого згоряння у низькоемісійних пальниках з більшою