

## КОНСТРУЮВАННЯ ПІДГРІВНИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРІВ ДЛЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

к.т.н. В.Ф. Чіжов, В.П. Маркін  
(подав д.т.н., проф. В.М. Більчук)

Розглянуто питання впливу коефіцієнта теплового зв'язку між нагрівачем і напівпровідниковим робочим елементом на інерційність підігрівних терморезисторів для термоанемометричних вимірювань.

У конструкціях підігрівних терморезисторів (ТР) тепло, виділене в нагрівачі, не повністю сприймається напівпровідниковим робочим елементом. Частина тепла неминуче втрачається, а для досягнення сталого теплового режиму в напівпровідниковому робочому елементі потрібний деякий час ( $\tau$ ), який визначає інерційність ТР при вимірюваннях швидкозмінних за швидкістю потоків. Очевидно, що чим конструктивно далі розміщений нагрівач від напівпровідникового робочого елемента, тим слабший тепловий зв'язок між цими елементами, тим більші втрати тепла і тим більша інерційність пристрою.

Тому конструкцію ТР з непрямым нагрівом оцінюють коефіцієнтом теплового зв'язку ( $K_{ТЗ}$ ) між напівпровідниковим робочим елементом і нагрівачем.  $K_{ТЗ}$  визначають як відношення потужності, необхідної для розігріву напівпровідникового робочого елемента до деякої температури при прямому нагріві ( $P_{п}$ ) до потужності, необхідної для розігріву його до тієї ж температури при непрямому нагріві ( $P_{к}$ ), тобто

$$K_{ТЗ} = P_{п} / P_{к} \quad (1)$$

Максимальне значення  $K_{ТЗ}$ , яке може бути одержане практично при конструюванні підігрівних ТР, не може перевищувати одиниці.

Розглянемо вплив, який спричиняє на інерційність ТР величина  $K_{ТЗ}$ . Для цього розглянемо усталений тепловий режим роботи ТР. Позначимо підведenu до нагрівача електричну потужність через  $P_0$ . Тоді потужність, що передається напівпровідниковому робочому елементу, буде

$$P_1 = K_{ТЗ} \cdot P_0 \quad (2)$$

За час  $t$  кількість тепла, що передається напівпровідниковому робочому елементу, можна визначити із співвідношення

$$Q_1 = K_{ТЗ} \cdot K \cdot P_0 \cdot t, \quad (3)$$

де коефіцієнт  $K$  передбачає перехід до інших одиниць роботи (калорій).

Відомо, що перенесення тепла при стаціонарній теплопровідності визначається за формулою [1]:

$$Q_2 = \frac{\lambda \cdot S \cdot t \cdot \Delta T}{\ell}, \quad (4)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;  $S$  – поперечний перетин провідника тепла;  $t$  – тривалість процесу;  $\Delta T$  – різниця температур на кінцях провідника тепла;  $\ell$  – довжина провідника тепла.

Прирівнюючи (3) і (4) і розв'язуючи відносно  $\Delta T$ , одержимо

$$\Delta T = \frac{K \cdot K_{\text{ТЗ}} \cdot P_0 \cdot \ell}{\lambda \cdot S}. \quad (5)$$

Тепло, що передається в стаціонарному режимі навколишньому середовищу за рахунок тепловіддачі, визначається виразом

$$Q_3 = \alpha \cdot S_0 \cdot t \cdot \Delta T^*, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;  $S_0$  – площа поверхні;  $t$  – тривалість процесу;  $\Delta T^*$  – різниця температур поверхні твердого тіла і газу.

Усе тепло в стаціонарному режимі повинно передаватись навколишньому середовищу, а не накопичуватися. Тому можна  $Q_1$  прирівняти  $Q_3$ .

Прирівнявши (3) і (6) і розв'язавши відносно  $\Delta T^*$ , одержимо

$$\Delta T^* = \frac{K_{\text{ТЗ}} \cdot K \cdot P_0}{\alpha \cdot S_0}. \quad (7)$$

Рахуючи всі величини, що входять в (7) постійними, крім коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$ , перетворюємо формулу (7):

$$\Delta T^* = A \cdot \alpha^{-1}, \quad (8)$$

де  $A = K_{\text{ТЗ}} \cdot K \cdot P_0 / S_0$ .

Розглянемо тепер роботу ТР при зміні швидкості потоку повітря, а саме для вимірювання швидкості руху газу і призначений даний ТР. Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  змінюється із зміною швидкості, що для повітря можна виразити наближеною формулою [1]:

$$\alpha = 5,6 + 4v, \quad (9)$$

де  $v$  – швидкість повітряного потоку.

При зміні швидкості повітряного потоку буде змінюватись і  $\alpha$ .

Припустимо для визначення подальших розрахунків, що

$$\alpha(t) = \alpha_0 \cdot t^n. \quad (10)$$

Підставимо це значення в (8), візьмемо похідну за часом. Тоді

$$\frac{\alpha[\Delta T^*(t)]}{\alpha t} = A[\alpha(t)]' = A \cdot \alpha_0^{-1}(-n) \cdot t^{-n-1} = \frac{A \cdot n}{\alpha_0} \cdot \frac{1}{t^{n+1}}. \quad (11)$$

Знак показує напрямок зміни температури і його можна опустити.

Будь - яка конструкція ТР має поріг чутливості. Позначимо мінімальну зміну температури, на яку буде реагувати ТР через  $\Delta T_{\min}$ . Якщо тепер розділити  $\Delta T_{\min}$  на швидкість зміни температури (11), то можна визначити мінімальний час  $\tau$ , який необхідний ТР для видачі сигналу про зміну швидкості потоку

$$\tau = \frac{\Delta T_{\min}}{\frac{\alpha[\Delta T^*(t)]}{dt}}. \quad (12)$$

Підставляючи в (12) значення  $\frac{\alpha[\Delta T^*(t)]}{dt}$  з (11), одержимо, урахувавши зауваження до (11):

$$\tau = \frac{\Delta T_{\min}}{\frac{A \cdot n}{\alpha_0} \cdot \frac{1}{t^{n+1}}} = \frac{\Delta T_{\min} \cdot \alpha_0 \cdot t^{n+1}}{A \cdot n}. \quad (13)$$

Ураховуючи, що апроксимація закону зміни швидкості потоку, точніше швидкості зміни  $\alpha(t)$  виразом  $\alpha(t) = \alpha_0 \cdot t^n$ , не має принципового значення для подальших міркувань, а було виконано для наочності. Дійсно, у разі (13) нас буде цікавити залежність  $\tau = \varphi(A)$ , тому вираз (13) можна представити

$$\tau = \frac{\Delta T_{\min}}{A} \cdot K', \quad (14)$$

де тільки коефіцієнт  $K'$  буде залежати від характеру зміни  $\alpha(t)$ .

Із виразу (14) бачимо, що інерційність ТР, що визначається часом реагування  $\tau$  обернено пропорційна коефіцієнту  $A$ , який, у свою чергу, прямо пропорційний  $K_{T3}$  (8).

Зменшення теплової інерційності підігрівного ТР досягається конструктивним рішенням, шляхом розміщення підігрівача спеціальної конструкції в середині термочутливого елемента ТР [2].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
2. АС №1254941 (СССР) Терморезистор косвенного подогрева / Чижов В.Ф., Артемьев И.К.

Подана до редколегії 27.04.2001