

В. Д. СТАШУК

ПІДГРІВНИЙ ТЕРМОРЕЗИСТОР ЯК ЧОТИРИПОЛЮСНИК

Підігрівний терморезистор є нелінійний електричний елемент, оскільки, по-перше, його опір залежить від температури, по-друге, температура є функцією квадрата підігрівного струму. Знайдемо умови, при яких підігрівний терморезистор може бути зображений з достатньою точністю лінійним чотириполіусником, і визначимо параметри такого чотириполіусника. Опір підігрівника R_n постійний, тому для пристівів напрути на підігрівнику і на терморезисторі

$$\begin{aligned} \Delta U_n &= R_n \Delta I_n \\ \Delta U_r &= \frac{\partial U_r}{\partial I_r} \Delta I_r + \frac{\partial U_r}{\partial R_r} \Delta R_r = \frac{\partial U_r}{\partial I_r} \Delta I_r + I_{r0} \Delta R_r, \end{aligned} \quad (1)$$

де R_r — опір терморезистора;

I_r — струм через терморезистор;

I_{r0} — постійна складова струму I_r .

Вважаючи прирости змінними складовими, для яких буде-ється лінійна модель терморезистора, і застосовуючи перетворення Лапласа, одержуємо

$$\left. \begin{aligned} U_n(p) &= R_n I_n(p) \\ U_r(p) &= Z_r(p) I_r(p) + R_r(p) I_{r0} \end{aligned} \right\} \quad (1a)$$

де

$$Z_r(p) = R_{r0} \frac{\tau_0 p + 1 - D}{\tau_0 p + 1 + D}$$

— операторний імпеданс терморезистора [1].

При малих змінах температури Θ_r придатна лінійна апроксимація температурної характеристики

$$R_r(p) = R_{r0} \alpha \Theta_r(p), \quad (2)$$

де R_{r0} — статичний опір терморезистора в робочій точці;

α — температурний коефіцієнт опору терморезистора.

Для того щоб знайти температуру терморезистора Θ_T , напишемо рівняння теплового балансу для підігрівника і терморезистора

$$\left. \begin{aligned} C_n \frac{d\Theta_n}{dt} + h_{нт} (\Theta_n - \Theta_T) + h_n \Theta_n &= P_n \\ C_T \frac{d\Theta_T}{dt} + h_{нт} (\Theta_T - \Theta_n) &= P_T \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де C_n і C_T — відповідно теплоємність підігрівника і терморезистора;
 $h_{нт}$ — коефіцієнт теплопровідності ізоляції між підігрівником і терморезистором;

h_n — коефіцієнт розсіяння з поверхні підігрівника;

P_n і P_T — відповідно потужність, що виділяється у підігрівнику та терморезисторі

Найбільша чутливість підігрівного терморезистора досягається у робочій точці, розташованій лівіше максимуму на статичній характеристиці терморезистора, де потужність P_T становить малу величину. Нехтуючи нею в (3), приходимо до лінійного диференціального рівняння

$$\frac{C_n C_T}{h_{нт}} \frac{d^2 \Theta_T}{dt^2} + \left(\frac{h_n}{h_{нт}} C_T + C_T + C_n \right) \frac{d\Theta_T}{dt} + h_n \Theta_T = P_n, \quad (4)$$

звідки знаходимо за допомогою перетворення Лапласа

$$\Theta_T(p) = \frac{P_n(p)}{\frac{C_n C_T}{h_{нт}} p^2 + \left(\frac{h_n}{h_{нт}} C_T + C_T + C_n \right) p + h_n}. \quad (5)$$

Якщо струм підігрівника складається з постійної $I_{п0}$ і змінної I_n складових, то

$$P_n = I_{п0}^2 R_n + 2I_{п0} I_n R_n + I_n^2 R_n.$$

При умові $I_n \ll I_{п0}$ змінна складова миттєвої потужності дорівнює

$$P_{п0} = 2I_{п0} I_n R_n,$$

або в операторній формі

$$P_n(p) = 2I_{п0} R_n I_n(p). \quad (6)$$

З урахуванням (2), (5) і (6) перепишемо систему рівнянь (1 а) у вигляді

$$\left. \begin{aligned} U_n(p) &= R_n I_n(p) \\ U_T(p) &= Z_{зв} I_n(p) + Z_T(p) I_T(p) \end{aligned} \right\},$$

а також у матричній формі

$$\begin{bmatrix} U_n(p) \\ U_T(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_n & 0 \\ Z_{зв}(p) & Z_T(p) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_n(p) \\ I_T(p) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де $Z_{зв}(p)$ — операторний опір зв'язку

$$Z_{зв}(p) = \frac{2I_{т0}I_{п0}R_{т0}R_{п0}\alpha}{\frac{C_{п}C_{т}}{h_{пт}} p^2 + \left(\frac{h_{п}}{h_{пт}} C_{т} + C_{т} + C_{п}\right) p + h_{п}}$$

Таким чином, підігрівний терморезистор може бути зображений лінійним чотириполосником, що має матрицю Z -параметрів,

$$[Z] = \begin{bmatrix} R_{п} & 0 \\ Z_{зв}(p) & Z_{т}(p) \end{bmatrix} \quad (8)$$

при умові, що змінна складова струму підігрівника становить малу величину, а потужністю $P_{т}$ можна знехтувати, що звичайно має місце на практиці.

Маючи систему рівнянь чотириполосника, легко знайти операторний коефіцієнт передачі

$$K(p) = \frac{Z_{зв}(p) I_{п}(p) + Z_{т}(p) I_{т}(p)}{R_{п} I_{п}(p)}$$

Якщо терморезистор живиться постійним струмом $I_{т0}$, то $I_{т}(P) = 0$ і

$$K(p) = \frac{2I_{т0}I_{п0}R_{т0}\alpha}{\frac{C_{п}C_{т}}{h_{пт}} p^2 + \left(\frac{h_{п}}{h_{пт}} C_{т} + C_{т} + C_{п}\right) p + h_{п}}, \quad (9)$$

що збігається з одержаними раніше результатами [2].

ЛІТЕРАТУРА

1. Ш а ш к о в А. Г., К а с п е р о в и ч А. С., Динамические свойства цепей с термисторами, Госэнергоиздат, 1962.
2. С о р о к и н М. Ф., Динамические параметры полупроводникового сопротивления косвенного подогрева, сб. «Полупроводниковые термосопротивления», под ред. Б. С. Сотскова, Госэнергоиздат, 1959.

V. D. STASHUK

UNDIRECTLY HEATED THERMISTOR AS FOUR-TERMINAL NETWORK

S u m m a r y

The conditions which allow to represent the undirectly heated thermistor as a linear four-terminal network are considered. Z -parameters of the four-terminal network are found. The transmission coefficient is calculated.