

БЕСКОНТАКТНОЕ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ТЕРМОРЕЛЕ

М. С. РОЙТМАН

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

Описываемая схема может успешно применяться для измерения, стабилизации и регулирования температуры. Достоинством схемы является ее большая гибкость и возможность получения высокой чувствительности. Гибкость схемы проявляется прежде всего в возможности регулирования выходной характеристики от монотонной вплоть до скачкообразной.

Рассмотрим работу схемы (рис. 1).

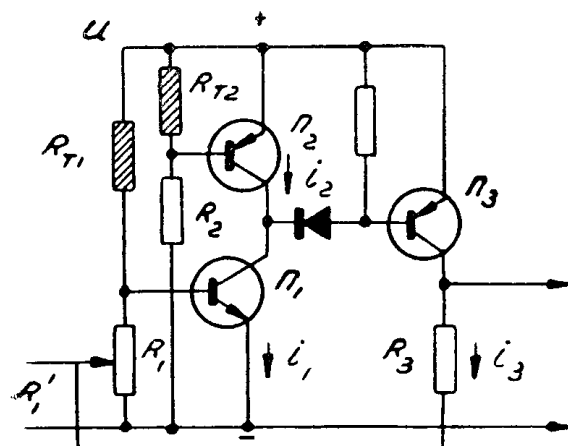


Рис. 1.

где h_{11} — входное сопротивление триода Π_1 ,
 β_1 — коэффициент усиления по току,
 $I_{кн1}$ — начальный коллекторный ток.
 К базе триода Π_2 приложено

$$U_{б2} = \frac{UR_{T_2}}{R_{T_2} + R_2}$$

и ток коллектора

$$i_2 = \frac{U_{б2}}{h_{11}} \beta_2 + I_{кн2},$$

где h_{11} — входное сопротивление триода Π_2 .
 β_2 — коэффициент усиления по току.
 $I_{кн2}$ — начальный коллекторный ток триода Π_2 .

К базе триода Π_1 приложено напряжение (рис. 1).

$$U_6 = \frac{UR_{T_1}}{R_1 + R_{T_1}} + R_1 i_3, \quad (1)$$

где R_{T_1} — сопротивление термистора (ММТ);
 i_3 — коллекторный ток триода Π_3 (этот ток, как будет показано ниже, является функцией температуры).

Коллекторный ток

$$i_1 = \frac{U_{б1}}{h_{11}} \cdot \beta_1 + I_{кн1}, \quad (2)$$

Сопротивление термисторов R_{T_1} и R_{T_2} с увеличением температуры будет уменьшаться. Легко заметить, что при повышении температуры ток i_1 возрастает, а i_2 — уменьшается.

При уменьшении температуры i_1 будет уменьшаться, а i_2 увеличиваться. Легко также заметить, что при $i_2 > i_1$ триод Π_2 находится в насыщении, падение напряжения на нем мало и триод Π_3 практически заперт. По мере увеличения температуры ток i_1 возрастает и при $i_1 \approx i_2$ напряжение на Π_2 повысится и триод Π_3 начнет открываться, т. е. ток i_3 будет возрастать. Сопротивление R'_1 является элементом положительной обратной связи. При значении $R'_1 = 0$ или меньше определенного критического значения $R'_{1 \text{ крит.}}$ зависимость i_3 от температуры имеет монотонный характер, а при $R'_1 \geq R'_{1 \text{ крит.}}$ — скачкообразный.

Рассмотрим вначале работу схемы при $R'_1 = 0$. Чувствительность схемы к изменению температуры:

$$S_t = \frac{di_3}{dt} \approx \left(\frac{di_1}{dt} - \frac{di_2}{dt} \right) \beta_3, \quad (3)$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\partial U_{\delta_1}}{\partial R_{T_1}} \cdot \frac{\partial R_{T_1}}{\partial t} - \frac{\partial h_{11}}{\partial U_{\delta_1}} \cdot \frac{\partial U_{\delta_1}}{\partial R_{T_1}} \cdot \frac{\partial R_{T_1}}{\partial t} + \frac{\partial \beta_1}{\partial h_{11}} \cdot \frac{\partial h_{11}}{\partial U_{\delta_1}} \cdot \frac{\partial U_{\delta_1}}{\partial R_{T_1}} \cdot \frac{\partial R_{T_1}}{\partial t},$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{\partial U_{\delta_2}}{\partial R_{T_2}} \cdot \frac{\partial R_{T_2}}{\partial t} - \frac{\partial h'_{11}}{\partial U_{\delta_2}} \cdot \frac{\partial U_{\delta_2}}{\partial R_{T_2}} \cdot \frac{\partial R_{T_2}}{\partial t} + \frac{\partial \beta_2}{\partial h'_{11}} \cdot \frac{\partial h'_{11}}{\partial U_{\delta_2}} \cdot \frac{\partial U_{\delta_2}}{\partial R_{T_2}} \cdot \frac{\partial R_{T_2}}{\partial t}.$$

Учитывая, что $R_T = R_{T_0} e^{\frac{B}{T}}$; $-\frac{B}{T^2} = \alpha_t$;

$$h = h_0 e^{-\frac{qU_{\delta}}{kT}},$$

где R_{T_0} и B — постоянные величины, зависящие от физических свойств материала термистора;

α_t — температурный коэффициент сопротивления,

q — заряд электрона,

k — постоянная Больцмана,

T — абсолютное значение температуры $\left(\frac{kT}{q} \approx 0,26 \text{ в при } 25^\circ\text{C} \right)$.

получим:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{UR_1}{R_1 + R_{T_1}} \cdot \frac{\beta_1}{h_{11}} \cdot \frac{\alpha_t \cdot R_{T_1}}{R_1 + R_{T_1}} \left[1 + \frac{UR_1}{R_1 + R_{T_1}} \cdot \left(1 + \frac{\partial \beta_1}{\partial h_{11}} \right) \cdot \frac{q}{kT} \right], \quad (4)$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{-UR_{T_2}}{R_2 + R_{T_2}} \cdot \frac{\beta_2}{h'_{11}} \cdot \frac{\alpha_t R_2}{R_2 + R_{T_2}} \left[1 + \frac{UR_{T_2}}{R_2 + R_{T_2}} \cdot \frac{q}{kT} \cdot \left(1 + \frac{\partial \beta_2}{\partial h'_{11}} \right) \right]. \quad (5)$$

Учитывая, что $R_{T_1} \gg R_1$ и $R_2 \gg R_{T_2}$ и приняв $\frac{\partial \beta}{\partial h_{11}} \approx 0$, можем упростить выражения (4) и (5):

$$\frac{di_1}{dt} = U_{\delta_1} \frac{\beta_1}{h_{11}} \alpha_t \left(1 + U_{\delta_1} \frac{q}{kT} \right)$$

и
$$\frac{di_2}{dt} = -U_{\delta_2} \frac{\beta_2}{h'_{11}} \alpha_t \left(1 + U_{\delta_2} \frac{q}{kT} \right).$$

Отсюда

$$\frac{di_1}{i_1} \approx \alpha_t \left(1 + \frac{U_{\delta_1}}{0,026} \right) dt; \quad \frac{di_2}{i_2} \approx -\alpha_t \left(1 + \frac{U_{\delta_2}}{0,026} \right) dt$$

$$\text{и } \frac{di_3}{i_3} \approx \alpha_t \left(2 + \frac{U_{\delta_1} + U_{\delta_2}}{0,026} \right). \quad (6)$$

Выражение (6) позволяет непосредственно оценить относительную чувствительность схемы к изменению температуры. Например, при $U_{\delta_1} \approx U_{\delta_2} \approx 130$ мв

и $\alpha_t = \frac{4\%}{1^\circ\text{C}}$ изменение температуры на 1°C

приведет к относительному изменению тока i_3 на 48 %. Приняв $i_1 = i_2 = 1$ ма и $\beta_3 = 50$, получим приращение тока i_3 на 24 ма.

На рис. 2 дана экспериментально снятая зависимость $U_{\text{вых}} = f(t)[R_3 = 1_{\text{ком}}]$ при $R_1 = 0$ (кривая а) и при $R_1 > R_{\text{крит.}}$ (кривая б).

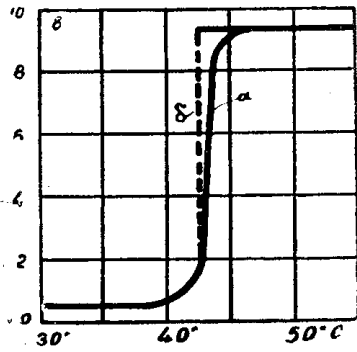


Рис. 2.