

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. С. ШАХКАМЯН

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ
НЕУРАВНОВЕШЕННОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ

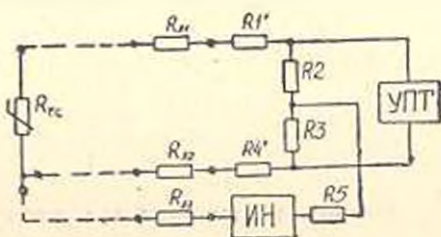
Мостовые неуравновешенные схемы постоянного тока нашли широкое применение в средствах измерения неэлектрических величин [1]. В настоящее время в измерительных преобразователях сигналов термопреобразователей сопротивления (ТС) в основном применяется неуравновешенная мостовая схема с трехпроводным соединением ТС. Соединение ТС с мостовой схемой большей частью осуществляется медным кабелем (при этом согласно ГОСТ 9736—80 и ГОСТ 13384—80 максимальное номинальное сопротивление каждого провода линии связи должно быть 15 Ом), а в плечах мостовой схемы применяются высокостабильные резисторы типа С2-29В, которые имеют малый температурный коэффициент сопротивления (м. к. с.). В широком рабочем диапазоне температур окружающей среды нельзя пренебречь температурными изменениями сопротивлений плеч мостовой схемы и сопротивлений проводов линии связи ТС.

Поэтому оценка дополнительной температурной погрешности мостовой схемы представляет актуальную инженерную задачу.

В статье дается методика расчета дополнительной температурной погрешности неуравновешенной мостовой схемы, работающей с ТС (рис.). Вопросы расчета параметров неуравновешенной мостовой схемы рассмотрены в [2]. Выходное напряжение мостовой схемы определяется выражением [1]:

$$U_{\text{вых}} = \frac{(R_3 R_2 - R_2 R_1) U_0}{R_2 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) + (R_1 + R_2) (R_3 + R_4)} \quad (1)$$

где $R_{\text{ТС}}$ — сопротивление ТС; U_0 — напряжение питания; $R_1 = R'_1 + R_2$; R_2, R_3 — сопротивление проводов линии связи; $R_4 = R'_4 + R_{\text{ТС}} + R_5$.



Для упрощения расчетов принимаем следующие обозначения:

$$R_1 = R_{10} (1 + \alpha_1 \theta) + \Delta R; \quad R_2 = n R_{10} (1 + \alpha_2 \theta);$$

$$R_3 = n R_{10} (1 + \alpha_3 \theta); \quad R_4 = R_{10} (1 + \alpha_4 \theta); \quad R_5 = p R_{10} (1 + \alpha_5 \theta),$$

где $R_{10} = R'_1 + R_{\text{дл}} + R_{\text{ТС(нач)}}$ — сопротивление первого плеча при нормальной температуре для начальной точки диапазона измерения; θ — отклонение температуры окружающей среды от нормальной; $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ — эквивалентные т. к. с. сопротивлений соответствующих плеч; ΔR — изменение сопротивления ТС в рабочем диапазоне измерения температуры; n, p — постоянные для данной схемы коэффициенты.

Тогда для выходного напряжения получаем:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_n \epsilon n (1 + \alpha_4 \theta)}{m_1 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \theta + \frac{m_3}{m_1} \theta^2 \right)}, \quad (3)$$

где $\epsilon = \Delta R / R_{10}$ — относительное изменение сопротивления первого плеча:

$$m_1 = 1 + 2(n + p + np) + n^2 + \epsilon(1 + n + p);$$

$$m_2 = n^2(\alpha_2 + \alpha_3) + np(\alpha_2 + \alpha_3 + 2\alpha_3) + n(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) +$$

$$+ p(\alpha_1 + \alpha_4 + 2\alpha_5) + (\alpha_1 + \alpha_4) + \epsilon(n\alpha_2 + \alpha_4 + p\alpha_5);$$

$$m_3 = n(\alpha_1\alpha_3 + \alpha_2\alpha_4 + np\alpha_5) + np\alpha_5(\alpha_2 + \alpha_3) + p\alpha_5(\alpha_1 + \alpha_4) + \alpha_1\alpha_4;$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{\epsilon} \left[\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_4 + \alpha_3(1 + \epsilon) \right].$$

Анализ выражения (3) показывает, что температурная погрешность схемы имеет максимальное значение при разных знаках α_1, α_2 и α_3, α_4 . Принимая, что для наихудшего случая т. к. с. плеч имеют максимальные значения, т. е. $\alpha_2 = -\alpha_3 = -\alpha_4 = \alpha_1 = \alpha_m$, получаем:

$$m_1 = \alpha_m [2p(n + 1) + (\alpha_1/\alpha_m - 1)(n + p + 1) + \epsilon(n + p - 1)];$$

$$m_2 = \alpha_m [\alpha_1(n + p - 1) + \alpha_m(n - n^2 - p)]; \quad (4)$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{\epsilon} \left[\alpha_1 + \alpha_m(3 + \epsilon) \right].$$

При применении резисторов С2-29В получаем: $m_1 \gg m_2$, поэтому для практических расчетов можно принять

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_n n \epsilon (1 + \alpha_4 \theta)}{m_2 (1 + \alpha_m \theta)}, \quad (5)$$

где $\alpha_m = m_2/m_1$.

Отметим, что $m. к. с.$ первого плеча α_1 зависит как от $m. к. с.$ резистора R_1 , так и от изменения сопротивления линии и можно принять

$$\alpha_1 = K_1 \alpha_m, \quad (6)$$

где

$$K_1 = R_{10}/R_{10} + \alpha_m R_{10}/\alpha_m R_{10}; \quad \alpha_m = 4,28 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C};$$

R_{10} — начальное сопротивление линии.

Анализ выражения (7) показывает, что при ничтожно малом сопротивлении медного соединительного провода линии можно пренебречь вторым членом коэффициента K , и для большинства мостовых схем можно принять $K_1 \approx 0,5$. Тогда для температурных коэффициентов α_4 и α_m :

$$\alpha_4 = K_4 \alpha_m, \quad \alpha_m = K_m \alpha_m, \quad (7)$$

где

$$K_4 = 1 + 3,5/\varepsilon;$$

$$K_m = \frac{(n+1)(2\rho-0,5) - 0,5\rho + \varepsilon(n+\rho+1)}{1 + 2(n+\rho+n\rho) + n^2 + \varepsilon(n+\rho+1)}.$$

Выходное напряжение мостовой схемы при этом можно представить в виде

$$U_{вых} = \frac{U_n n \varepsilon (1 + K_4 \alpha_m \theta)}{m_1 (1 + K_m \alpha_m \theta)}. \quad (8)$$

Для большинства мостовых схем $\varepsilon \leq 0,4$ [2], поэтому для минимального значения коэффициента K_4 получаем $K_4 > 9,8$, а для режима равновесия выражение (8) можно представить в виде

$$U_{вых0} = \frac{U_n \cdot n \cdot 3,5 \alpha_m \theta}{m_1 (1 + K_m \alpha_m \theta)}, \quad (9)$$

Расчеты показывают, что при $\theta \leq 30^\circ\text{C}$ и $|\alpha_m| \leq 75 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (для резисторов группы А) для приборов класса точности 0,5 значением K_m можно пренебречь и тогда:

$$U_{вых} = \frac{U_n \cdot n \varepsilon}{m_1} (1 + K_4 \alpha_m \theta). \quad (10)$$

Если сопротивлением медного провода соединительной линии нельзя пренебречь, то $m. к. с.$ плеч 1 и 4 будут зависеть в основном от $m. к. с.$ провода линии связи и с достаточной для практики точностью можно принять $\alpha_1 = \alpha_4 = K_1 |\alpha_m|$. При этом для рассмотренного выше случая получаем $K_1 < 18$, а наибольшее значение m_2 определится при $\alpha_m > 0$ и тогда можно пользоваться следующими выражениями:

$$K_4 = 1 + 2/\varepsilon;$$

$$K_m = \frac{2\rho(n+1) + 2K_1(n+\rho+1) + \varepsilon(n+\rho+1)}{1 + 2(n+\rho+n\rho) + n^2 + \varepsilon(n+\rho+1)}.$$

Изменением K_{21} от ε практически можно пренебречь и в расчетах можно принять значения K_{21} при $\varepsilon = 0$. Сравнение значений K_1 и K_{21} для этого случая (см. таблицу) показывает, что при минимальном значении $K_1 = 6$ значением K_{21} нельзя пренебречь. Следовательно, выходное значение мостовой схемы можно представить в виде

$$U_{\text{вых}} = \frac{nU_A}{m_1} \varepsilon (1 + \alpha_{\text{вых}} \theta),$$

где $\alpha_{\text{вых}} \approx (K_1 - K_{21}) \alpha_m$ — температурный коэффициент выходного напряжения.

Приведенную выше методику расчета температурной погрешности можно использовать и для расчета дополнительной погрешности от годовой нестабильности сопротивлений плеч, устанавливая в полученные выражения вместо $\alpha_m \theta$ значения годовой нестабильности сопротивлений.

Таблица

ε	n	K_{21} при $\varepsilon = 0$ и K_1			
		$K_1 = 1$	$K_1 = 3$	$K_1 = 5$	$K_1 = 10$
0	5	0,33	1	1,66	3,33
	10	0,18	0,55	0,91	1,82
	15	0,12	0,38	0,63	1,25
5	5	0,85	1,31	1,77	2,92
	10	0,62	0,9	1,16	1,86
	15	0,49	0,69	0,9	1,4
10	5	0,97	1,38	1,79	2,82
	10	0,76	1,01	1,26	1,87
	15	0,65	0,82	1,01	1,45

ИРЛИ им. К. Маркса

16. IX. 1984

Ա. Ս. ՇԱՀԱՅԱՆ

ՉՀԱՎԱՍՏԱԿՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԳԱՆՅՈՒ ՍԽԵՄԱՅԻ ԶԵՐՄԱՍԻՃԱՆԱՅԻ ՍԽԱՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. ո. մ.

Չհավաստակո՞ւմ կամրջակային սխեման լայն տարածում է ստացել ոչ էլեկտրական մեծությունների չափիչ սարքերում: Ստացված են բանաձևեր սխեմայի ջերմաստիճանային սխալի հաշվարկի համար, երբ կախված չըջապատի ջերմաստիճանից փոխվում են կամրջակի նյութերի զիմադրությունները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Каракозья К. В. Специальные методы электрических измерений. — М.: ГЭИ, 1983. — 344 с.
2. Шахматян А. С., Петросян Р. А., Ходжиянц Ю. М. Расчет мостового измерительного преобразователя сигнала термометра сопротивления. — Измерительная техника, 1973, № 8, с. 41—43.