

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ю. М. ХОДЖАЯНИ, А. С. ШАХКАМЯН

РАСЧЕТ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ПОДАВЛЕНИЯ НЕРАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА Т.Э.Д.С. С АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ Т.Э.Д.С. СВОБОДНЫХ КОНЦОВ ТЕРМОПАРЫ

Одним из путей повышения точности измерения температуры термопарой (T_n) является применение дифференциального метода измерения (подавление т.э.д.с. нерабочего диапазона). В большинстве случаев необходимо вводить устройства автоматической компенсации т.э.д.с. свободных концов T_n , поэтому схему подавителя целесообразно выбрать такой, чтобы одновременно осуществлялась также автокомпенсация. Для решения этой задачи применяются неравновесные мостовые схемы, однако отсутствие инженерного метода расчета ограничивает область их применения.

Ниже рассмотрен метод расчета мостовой схемы подавителя, обеспечивающей автокомпенсацию т.э.д.с. свободных концов T_n . Схема подавителя приведена на рис. 1.

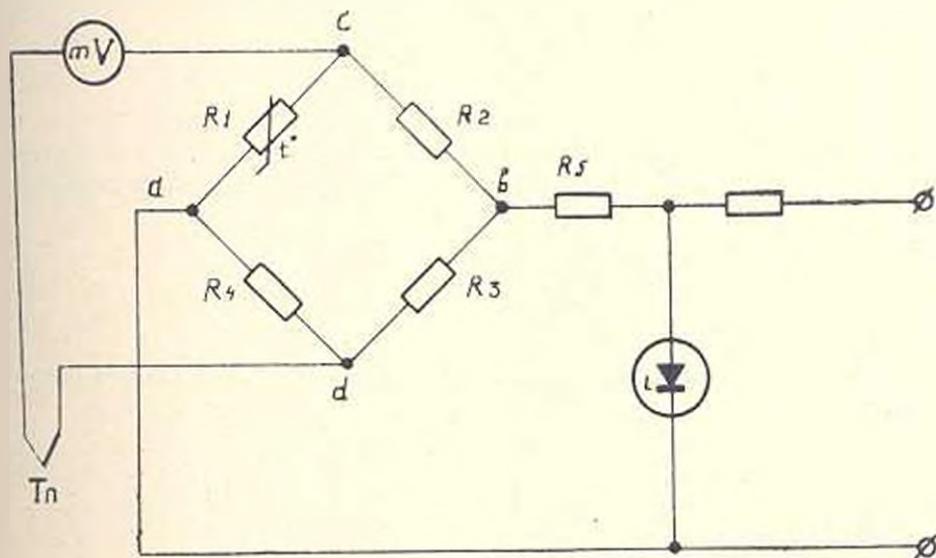
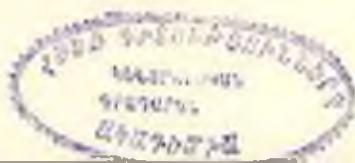


Рис. 1

Автокомпенсация т.э.д.с. свободных концов осуществляется благодаря применению в плече ac медного резистора с сопротивлением

$$R_1 = R(1 + \alpha t), \quad (1)$$



где $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ — температурный коэффициент сопротивления медного резистора;

R — сопротивление резистора при $t = 0^\circ\text{C}$;

t — температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$.

Подавление т.э.д.с. нерабочего диапазона целесообразно производить выбором соответствующего значения сопротивления четвертого плеча, при одинаковых сопротивлениях второго и третьего плеч. Для упрощения расчетов принимаем:

$$R_2 = R_3 = R; \quad R_4 = aR; \quad R_5 = \nu R. \quad (2)$$

где a, ν — расчетные коэффициенты.

Для обеспечения высокой точности подавитель питается от однокаскадного параметрического стабилизатора напряжения

$$U_{ct} = U_0(1 + \alpha_{ct}t), \quad (3)$$

где U_0 — напряжение стабилизации при $t = 0^\circ\text{C}$; α_{ct} — т. к. н. стабилитрона. Если мостовая схема и свободные концы Тп находятся в одинаковых условиях, то при точной работе схемы выходная э.д.с. моста должна изменяться по закону

$$e_{\text{вых}} = e_{cd} - e_{cdo} - e_{\text{тп}}, \quad (4)$$

где $e_{\text{тп}} = K_{\text{тп}}t$ — т. э. д. с. свободных концов Тп; $K_{\text{тп}}$ — коэффициент линеаризации т. э. д. с. в диапазоне температур свободных концов.

При температуре окружающей среды 0°C выходная э.д.с. моста, следовательно, подавляемая т.э.д.с. будет:

$$e_{cdo} = e_c = U_{abo} \frac{a-1}{2(a+1)}, \quad (5)$$

где U_{abo} — напряжение питания моста при 0°C .

Из (5) следует, что требуемое значение подавляемой т. э. д. с. можно получить соответствующим выбором коэффициента a или напряжения питания моста U_{abo} , которое, для принятых выше обозначений, будет:

$$U_{abo} = \frac{U_0}{1 + \nu \frac{3+a}{2(1+a)}}. \quad (6)$$

Напряжение питания моста, в общем случае, описывается выражением:

$$U_{ab} = U_{abo} \frac{(2 + \alpha t)(1 + \alpha_{ct}t)}{2 \left[1 + \frac{\alpha}{2} t \left[\frac{2}{3+a} + \frac{1+a}{3+a} \cdot \frac{U_{abo}}{U_0} \right] \right]}. \quad (7)$$

где R_{ab} — сопротивление моста по диагонали ab .

С достаточной для практики точностью можно принять:

$$\frac{1 + \alpha_{ct}t}{1 + \frac{\alpha}{2} t \left[\frac{2}{3+a} + \frac{1+a}{3+a} \cdot \frac{U_{abo}}{U_0} \right]} = 1 - 3t,$$

где β — расчетный коэффициент, зависимость которого от коэффициента a (при $\alpha_{ст} = 0,0006$, $\frac{U_{abo}}{U_0} < 0,01$) приведена на рис. 2.

Тогда напряжение питания моста опишется простым выражением

$$U_{ab} = U_{abo} \left(1 + \frac{\beta}{2} t \right) (1 - \beta t) \quad (8)$$

и для данного источника питания может быть легко определено при любой температуре окружающей среды.

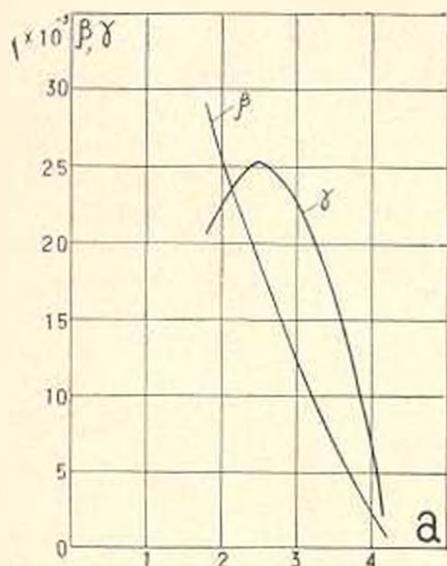


Рис. 2

Выходная э.д.с. моста, в общем случае, будет:

$$e_{cd} = U_{ab} \frac{a - 1 - \alpha t}{(a + 1)(2 + \alpha t)} = e_0 \left(1 - \frac{\alpha_1}{a - 1} t \right), \quad (9)$$

где

$$\alpha_1 = \alpha + \gamma; \quad \gamma = \beta(a - 1 - \alpha t).$$

Зависимость $\gamma = f(a)$ при $\alpha_{ст} = 0,0006$ и $\frac{U_{abo}}{U_0} < 0,01$ приведена на рис. 2.

Из выражений (5), (8) и (9) для составляющей э.д.с. моста, зависящей от температуры, получим следующее выражение:

$$e_0 - e_{cd} = \frac{U_{abo}}{2(1 + a)} \alpha_1 t. \quad (10)$$

Тогда, для точной автокомпенсации т.э.д.с. свободных концов Тп. нужно обеспечить условие

$$K_{\text{тн}} = \frac{\alpha_1 U_{ab0}}{2(1+a)} \quad (11)$$

Из выражений (5) и (11) для точной работы схемы получим:

$$U_{ab0} = 4 \frac{K_{\text{тн}}}{\alpha_1} + 2e_0 = 2e_0 \frac{a+1}{a-1}; \quad (12)$$

$$a = \frac{U_{ab0} + 2e_0}{U_{ab0} - 2e_0} = 1 + \frac{2e_0}{K_{\text{тн}}} + \frac{\gamma e_0}{K_{\text{тн}}} \quad (13)$$

По кривым рис. 2, путем последовательных приближений, определяется значение коэффициента a , удовлетворяющее выражению (13) для требуемого значения e_0 . Значение напряжения питания U_{ab0} вычисляется по формуле (12), а по формуле (8) и значению β из рис. 2 вычисляются значения U_{ab} при разных температурах окружающей среды.

Значения коэффициента a и напряжения U_{ab} (при применении стабилитрона Д814А), для различных значений подавляемой т. э. д. с. градуировок ХА, ХК, ПП-1, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Градуировка термопары	Диапазон измерения		a	U_{ab} , мВ
	начало, °С	конец, °С		
ХА	200	T	1,890	52,7(1+1,33 · 10 ⁻³ t)
	300		2,348	60,7(1+1,10 · 10 ⁻³ t)
	400		2,810	69,0(1+1,00 · 10 ⁻³ t)
	500		3,260	77,9(1+0,95 · 10 ⁻³ t)
	600		3,678	87,0(1+0,88 · 10 ⁻³ t)
	700		4,076	96,2(1+0,85 · 10 ⁻³ t)
ХК	200	T	1,985	88,8(1+1,22 · 10 ⁻³ t)
	300		2,550	104,9(1+1,06 · 10 ⁻³ t)
ПП-1	500	T	4,085	13,9(1+0,70 · 10 ⁻³ t)

Значение R выбираем, исходя из требуемого значения выходного сопротивления моста, которое при $t = 0^\circ\text{C}$ будет

$$R_{\text{вых}} = \frac{2(1+a)}{3-a} R. \quad (14)$$

Определим погрешность выходного сигнала моста в зависимости от погрешностей наладки параметров схемы. С достаточной для практики точностью связь между погрешностями можно определить дифференцированием соответствующих выражений.

Погрешность выходного сигнала из (9) будет:

$$\gamma_{\text{вых}} \approx \frac{1}{1-t/T_0} \gamma_{e_0} - \frac{1}{T_0/t-1} \gamma_{\alpha_1} - \frac{1}{T_0/t-1} \gamma_{\alpha_2} \quad (15)$$

где T_1 — нижний предел измерения (подавляемый сигнал);

$$\gamma_{\epsilon_1} \approx \gamma_0 + \frac{2}{a^2 - 1} \gamma_a - \text{погрешность подавляемого сигнала};$$

γ_a — погрешность коэффициента a ($\gamma_a < 0,2\%$);

γ_T — погрешность измерения температуры окружающей среды;

γ_{z_1} — погрешность коэффициента z_1 ($\gamma_{z_1} < 0,2\%$);

γ_0 — погрешность установки напряжения питания моста при $t = 0^\circ\text{C}$.

Погрешность γ_0 из (8) будет:

$$\gamma_0 \approx \gamma_{U_{ab}} + \frac{\beta t_1}{1 - \beta t_1} \gamma_z - \frac{\alpha t_1}{2 + \alpha t_1} \gamma_{t_1}, \quad (16)$$

где $\gamma_{U_{ab}}$ — погрешность установки напряжения питания моста при температуре t_1 ;

γ_{t_1} — погрешность измерения температуры t_1 ;

γ_z — погрешность расчета коэффициента β ($\gamma_z < 5\%$).

Принимая все составляющие погрешности случайными и независимыми, нормированными удвоенным значением среднесquareтической погрешности ($\delta = 2\sigma$), при $\gamma_{z_1} = 5\%$ и $\gamma_{U_{ab}} = 0,2\%$ получим $\delta_0 < 0,35\%$ и $\delta_{\epsilon_1} < 0,4\%$.

Погрешность выходного сигнала в основном зависит от погрешностей γ_a и γ_0 .

Для уменьшения γ_a резисторы плеч моста нужно изготовить с высокой точностью. Тогда налазка подавителя сводится к установлению требуемого значения напряжения питания моста U_{ab} с необходимой точностью.

Поступило 6.IX.1973.

ՏՈՒՆ Գ. ԿՈՉԱՅԱՆՅ, Ա. Ս. ՇԱԿՅԱՄՅԱՆ

ՋԵՐԵՄԱՋՈՒՅԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ԳԻՒՊԱԶՈՆԻ ՋԵՐԲԱ—Է. Շ. ՈՒ-Ի ՄԱՐԲԱՆ, ԵՎ ԱԶԱՏ ԽԱՅԻՆԻ ՋԵՐԲԱ—Է. Շ. ՈՒ-Ի ԱՎՏՈՄԱՏ ԿՈՄՊԵՆՍԱՑԻՄԱՆ ԿԱՐԲՋԱԿԱՅԻՆ ՈՒՆԵՐԱՅԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա Վ Փ Ո Վ Ո Ս

Ջերմագույզով ջերմաստիճանի չափման հշտությունների բարձրացման համար նպատակահարմար է օգտագործել չափման դիֆերենցիալ մեթոդը և կոմպենսացնել ադատ ծայրերի ջերմա— է. շ. ու. - ն: Նշված պահանջների իրականացման համար օգտագործվում է չափաստարակչոված կամբջակային սխեմա (նկ. 1), որի հաշվարկի մեթոդը բերված է հոդվածում: Թերված են պարամետրների հաշվարկային բանաձևերը և տարբեր գործոններից առաջացող սխալների հաշվման բանաձևերը, ինչպես նաև սխեմայի կարգավորման մեթոդը: