

СОГЛАСОВАНИЕ ЛИНЕЙНО-АППРОКСИМИРОВАННЫХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА

А.Т.Рахманов¹, С.Ф.Кузнецов², А.К.Хамраев³, С.С.Гулямов⁴

¹доктор технических наук, профессор, ²соискатель ТГТУ, ^{3;4}магистры
Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

***Аннотация.** Разработан метод и функциональная схема согласования линейно-аппроксимированные статических характеристик температурного преобразователя и установлены оптимальные значения корректирующих элементов и фильтра согласования для линеаризации статических характеристик температурного преобразователя.*

***Ключевые слова.** Функциональная схема, преобразователь, аппроксимация, корректирующие элементы, статические характеристики, удельное сопротивление.*

При создании систем автоматического контроля и регулирования температуры, являющейся наиболее распространенным технологическим параметром, как правило, применяют приборы и устройства, чувствительные элементы которых преобразуют температуру в электрический сигнал. Такие термометры позволяют производить измерение с высокой точностью и обеспечивать дистанционность контроля. Сигнал, пропорциональный температуре, удобно обрабатывать, нормировать и вводить в измерительно-вычислительные комплексы, что особенно важно в связи с широким внедрением автоматизированных систем управления производственными процессами.

В промышленности и при проведении научных исследований в качестве первичных преобразователей электрических термометров чаще всего используют термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления. Для измерения средних температур предпочтение отдают термопреобразователи сопротивления, которые имеют более высокие чувствительность, точность, помехоустойчивость и стабильность во времени. Термопреобразователи сопротивления могут применяться в достаточно широком температурном диапазоне (0-200 °С), который характерен для многих технологических процессов химической, пищевой, легкой, машиностроительной и некоторых других отраслях промышленности. Электрические термометры с термоэлектрическим преобразователем в последние годы шире используют в сельском хозяйстве и медицине. В качестве вторичных измерительных средств в комплексе с термоэлектрическими преобразователями функционируют уравновешенные и неуравновешенные мосты, логометры и нормирующие преобразователи.

Общим вопросам температурных измерений и методам расчета схем термометров с термопреобразователями сопротивления посвящено большое число публикаций [1-2], в которых основное внимание уделено средствам контроля температуры общепромышленного назначения. Однако быстрое развитие науки и техники, разработка новых и совершенствование существующих производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства, внедрение новых технологических комплексов и аппаратов постоянно требуют создания специальных приборов и устройств теплового контроля, в полной мере учитывающих специфические конструктивные и эксплуатационные особенности автоматизируемых тепловых объектов.

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на изменении электрического сопротивления термочувствительных элементов под действием температуры. Материалы, из которых изготавливаются чувствительные элементы, должны иметь, прежде всего, высокий и стабильный температурный коэффициент сопротивления, большое удельное электрическое сопротивление, а также устойчивые физические и химические свойства в диапазоне измеряемых температур. В наибольшей степени этим требованиям отвечают такие металлы, как медь, никель, платина, а также некоторые поли- и монокристаллические полупроводники. Указанные материалы используют чаще всего в качестве чувствительных элементов термопреобразователей сопротивления. Их свойства достаточно хорошо изучены [3-4], а температурные характеристики соответствующих терморезисторов в диапазоне средних температур описываются соотношениями, приведенными в табл.

Таблица

№	Тип чувствительного элемента	Материал чувствительного элемента	Аппроксимирующая температурная зависимость
1	Металлические	Медный	$R_m = R_0(1 + \beta\theta)$ [1]
		Платиновый и никелевый	$R_m = R_0(1 + A\theta + B\theta^2)$ [2,3]
2	Полупроводниковые	Монокристаллический	$R_m = R_0(1 + A\theta + B\theta^2)$ [2,3]
		Поликристаллический	$R_m = A \exp(B/T)$; [4] $R_m = AT^\sigma \exp(B/T)$ [5]

Здесь R_T и R_0 – сопротивления чувствительного элемента при температурах θ и 0°C ; T , A , B и σ – абсолютная температура и постоянные коэффициенты. У медных чувствительных элементов температурный коэффициент $\beta=4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Для платиновых чувствительных элементов $A=3,97 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, $B=-5,85 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$, для никелевых $A=5,86 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, $B = 8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$.

Параметры A , B и σ , характеризующие полукристаллические терморезисторы, зависят от материала, конструкции, а также размеров последних и определяются экспериментально для каждого конкретного типа терморезистора.

Формулы (3) и (4) рекомендуется использовать для диапазонов до 25°C и 100°C . Особенно сложна и неоднозначно описывается температурная характеристика монокристаллических терморезисторов. При ее аппроксимации применяют функции нескольких видов для отдельных участков кривой.

Для диапазона средних температур из всего многообразия монокристаллических терморезисторов наиболее целесообразно использовать те из них, характеристика которых с достаточной точностью описывается либо линейной функцией, либо близкой к ней зависимостью вида (2).

Часто чувствительность специального термопреобразователя сопротивления с линейной статической характеристикой оказывается выше чувствительности выбранного стандартного моста. Согласование таких термопреобразователей сопротивления и автоматического моста достигается введением в схему термопреобразователя двух корректирующих резисторов R_c и R_d (рис.1), сопротивления которых должны быть

рассчитаны так, чтобы характеристика термопреобразователя сопротивления (прямая 1, рис.2) совместилось с наименьшей статической характеристикой (прямая 2) автоматического моста [5].

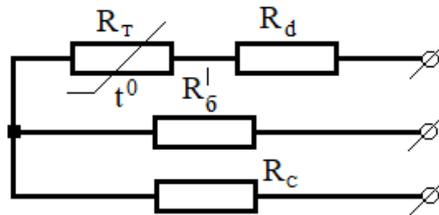


Рис.1. Схема термопреобразователя сопротивления с корректирующими резисторами

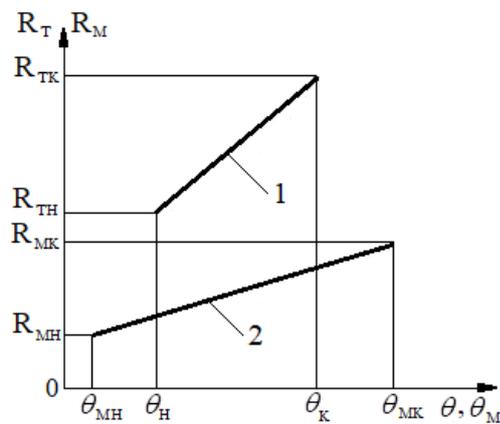


Рис.2. Статические характеристики термопреобразователя сопротивления (1) и автоматического моста (2)

Решив систему уравнений равновесия автоматического моста для точек его шкалы, соответствующих θ_H и θ_K , получаем следующие формулы для расчета требуемых сопротивлений:

$$R_c = R_{B2}^1 \left(\frac{\Delta R_T}{\Delta R_M} \cdot \frac{\Delta \theta_M}{\Delta \theta_K} - 1 \right), \quad (1)$$

$$R_d = R_c + \frac{\Delta R_T}{\Delta \theta_K} (\theta_H - \theta_{MH}) - (R_{TH} - R_{MH}). \quad (2)$$

В частном, но на практике наиболее широко используемом случае, когда диапазон контролируемой температуры совпадает с пределами шкалы автоматического моста, расчетные формулы упрощаются:

$$R_c = R_{B2}^1 \left(\frac{\Delta R_T}{\Delta R_M} - 1 \right), \quad (3)$$

$$R_d = R_c - (R_{TH} - R_{MH}). \quad (4)$$

Соотношения (1-2) и (3-4) применимы для согласования термопреобразователя сопротивления и автоматического моста, имеющих различные, но линейные статические характеристики. Если же наименьшая статическая характеристика термопреобразователя нелинейно (кривая 1, рис.3), то ее необходимо аппроксимировать линейной зависимостью (прямая 2) и оценить погрешность аппроксимации.

Пусть статическая характеристика термопреобразователя элемента описывается квадратичной функцией (2), которую можно аппроксимировать линейной зависимостью

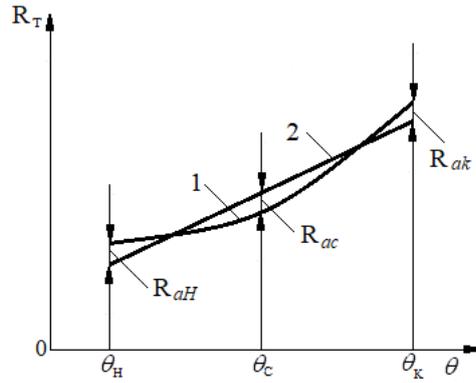


Рис.3. Статическая характеристика термопреобразователя сопротивления (кривая 1) и ее линейная аппроксимация (кривая 2)

$$\overline{R_T} = \overline{R_0}(1 + \overline{\beta}\theta_T). \quad (5)$$

Отклонение действительной характеристики термопреобразователя сопротивлений от линейной

$$\Delta R_a = R_T - \overline{R_T} = R_0 - \overline{R_0} + (AR_0 - \overline{R_0}\overline{\beta})(\Theta_T + R_0 + B\Theta_T^2). \quad (6)$$

Параметры R_0 и β находятся из условия равенства абсолютных величин отклонений в начале ($\Delta R_{ан}$), середине ($\Delta R_{ас}$) и конце ($\Delta R_{ак}$) диапазона контролируемых температур

$$\overline{R_0} = \sigma \overline{R_0}; \quad \overline{\beta} = [A + B(\theta_{Tн} + \theta_{Tк})] / \sigma, \quad (7)$$

где

$$\sigma = 1 - B[0,12(\theta_{Tн} + \theta_{Tк})^2 + 0,5\theta_{Tн}\theta_{Tк}],$$

$$\theta_{Tн} = [\sqrt{A^2 + 4B(R_{Tн} / K_0) - 1} - A] / 2B,$$

$$\theta_{Tк} = [\sqrt{A^2 + 4B(R_{Tк} / K_0) - 1} - A] / 2B.$$

Для погружаемых термопреобразователей значения $\theta_{Tн}$ и $\theta_{Tк}$ соответственно равны $\theta_н$ и $\theta_к$. Указанные отклонения ΔR_a приводит к относительной погрешности аппроксимации, максимальная величина которой

$$\delta_a = B\Delta T_k / 8[A + B(\theta_{Tн} + \theta_{Tк})], \quad (8)$$

где $\Delta\theta_T = \theta_{Tк} - \theta_{Tн}$.

Если эта погрешность превышает допускаемое значение, то необходимо линейризации характеристики 1 производит с помощью корректирующих резисторов. В противном случае для совмещения аппроксимированной характеристики термопреобразователя (5) с линейной наименьшей статической характеристикой автоматического моста надо определить сопротивления R_c и R_d по формулам (1-2), подставив в них значения

$$\Delta R_T = \overline{R_0}\overline{\beta}\Delta\theta_T; \quad R_{Tн} = \overline{R_0}(1 + \overline{\beta}\theta_{Tн}). \quad (9)$$

Кроме δ_a в общую погрешность измерения термопреобразователя сопротивления входят и другие составляющие параметры. Соотношения для расчета погрешностей, обусловленных отклонениями сопротивлений R_0 , R_d и R_c от их номинальных значений, имеют вид:

$$\delta_0 = \frac{\Delta R_0 \Delta \theta_M}{\Delta R_M \Delta \theta_{0к}} \cdot \frac{R_{TK} R_{B2}}{R_0 R_{B2}}; \quad \sigma_d = \frac{\Delta R_d \Delta \theta_M}{\Delta R_M \Delta \theta_{0к}} \cdot \frac{R_{B2}^1}{R_{B2}}; \quad (10)$$

$$\sigma_c = \frac{\Delta R_c \Delta \theta_M}{\Delta R_M \cdot \Delta \theta_{0к}} \cdot \frac{R_{B2}^1 R_{B1}}{R_{B2}^2}, \quad (11)$$

где $R_{B1} = R_{B1}^1 + R_{TK} + R_d$; $R_{B2} = R_{B2}^1 + R_c$;

Для чувствительного элемента, изготовленного из материала с известным отклонением $\Delta\beta$, соответствующая погрешность

$$\delta_{\beta} = \frac{\Delta\beta}{\beta} \cdot \frac{\Delta\theta_m}{\Delta\theta_{0к}} \cdot \frac{R_{B2}^1 (R_{Tк} - R_0)}{\Delta R_m \cdot R_{B2}}. \quad (12)$$

Максимальную погрешность измерительного термометра сопротивления, обусловленную нагревом чувствительного элемента измерительным током, вычисляют по соотношению (1), где $R_T = R_{Tк}$; $R_{B1} = R_{Tк} + R_d$.

Таким образом, разработан метод и функциональная схема согласования линейно-аппроксимированные статических характеристик температурного преобразователя и установлены оптимальные значения корректирующих элементов и фильтра согласования для линеаризации статических характеристик температурного преобразователя. Предложенная методика согласования характеристик температурного сопротивления и автоматического моста применена при разработке полупроводниковых преобразователей, используемые для измерения температуры и влажности дисперсных сред и получены надежные линеаризованные статические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган В.А., Обелевская К.М. Повышение точности измерения температуры путем учета параметров термометров согласования //Измерительная техника, 1990, №3.-С. 37-39.
2. Magdeburg Hans. Elektrical clinical thermometers//Bull. Oroganis int. metrol. Leg., 1999.V.24, №92, P.3-10.
3. Шаумберг Х. Датчики: Пер. с немец./Под ред. Р. Хамдамова.-Ташкент: ТГТУ, 2002.-147 с.
4. Катюк А.Ф. Датчики современных измерениях. М.: Радпо и связь. Горячая линия, Тальком, 2006.-96 с.
5. Рахманов А.Т. Зондовые параметрические преобразователи информации.- Ташкент, 2010.- С.160.