

Многокаскадная термокомпенсация измерительных схем термисторами. Д а в ы д о в Н. А., Б о й-
ц о в а С. Г. — В кн.: Научное приборостроение. Теоретические и экспериментальные исследования. Л.:
Наука, 1984, с. 47—50.

Рассматривается многокаскадная термокомпенсация температурной погрешности измерительной схемы полупроводниковыми терморезисторами, применение которой целесообразно в случаях, если исходную погрешность не удастся скомпенсировать одной компенсационной цепью из-за большой величины погрешности или если применение одной компенсационной цепи неэффективно из-за большой остаточной погрешности внутри диапазона (что имеет место при большом температурном диапазоне). Приводятся схемы включения и методика расчета многокаскадной термокомпенсации для указанных случаев. Приведен пример расчета двухкаскадной термокомпенсации измерительной схемы. Лит. — 1 назв., ил. — 2.

II. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Н. А. Давыдов, С. Г. Бойцова

МНОГОКАСКАДНАЯ ТЕРМОКОМПЕНСАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ ТЕРМИСТОРАМИ

В [1] рассмотрена термокомпенсация измерительных схем при построении компенсационной цепи на базе одного термистора. Компенсационные возможности такой схемы, построенной на термисторе типа КМТ, ограничиваются 2.5%/°С (без подбора термистора). Так, в диапазоне 0—40 °С можно скомпенсировать погрешность ±50%, причем полная компенсация имеет место только в крайних точках диапазона, внутри диапазона остаточная погрешность достигает ±3.5%. При требовании меньшей величины остаточной погрешности снижается и предел компенсируемой погрешности. При необходимости скомпенсировать погрешность большей величины или на большем температурном диапазоне компенсационная цепь на одном термисторе оказывается недействительной ввиду того, что в первом случае ТКС термистора недостаточен для компенсации требуемой погрешности, а во втором, — несмотря на наличие компенсации в крайних точках диапазона, внутри диапазона остаточная погрешность может быть неприемлемо большой.

В этих случаях достаточной компенсации можно достичь, применяя двух- и многокаскадные компенсационные цепи, построенные на термисторах. В этих цепях второй и последующие каскады могут быть включены как непосредственно на выход предыдущего каскада, так и в любом другом месте схемы. В случае включения непосредственно на выход предыдущего каскада входное сопротивление последующего каскада должно быть на порядок больше выходного сопротивления предыдущего, что может быть достигнуто выбором соответствующего номинала термистора.

Схемы включения многокаскадных термокомпенсационных цепей на примере двухкаскадных приведены на рис. 1.

Условие компенсации и формулы расчета параметров термокомпенсационной цепи, приведенные в [1] справедливы для частного случая, когда температура градуировки (как правило, 20 °С) является средней точкой температурного диапазона, т. е. когда температурный диапазон симметричен относительно температуры градуировки. В общем случае, когда температура градуировки не совпадает со средней точкой температурного диапазона, условие компенсации имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 K_1 &= \delta_3 K_3, \\ \delta_2 K_2 &= \delta_3 K_3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\delta = \frac{U_{\text{сх}}}{U_{\text{сх}0}}$; $K = \frac{U_{\text{вмх}}}{U_{\text{сх}}}$; δ — коэффициент, характеризующий погрешность схемы; K — коэффициент передачи компенсационной цепи (цифровые индексы указывают выбранную температуру); $U_{\text{сх}}$, $U_{\text{сх}0}$ — выходное напряжение схемы соответственно при переменной температуре и температуре градуировки; $U_{\text{вмх}}$ — напряжение на выходе компенсационной цепи.

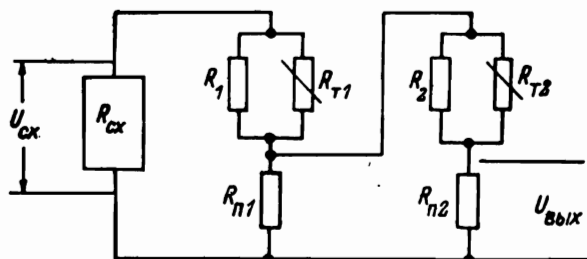
Коэффициент передачи компенсационной цепи для схемы с отрицательной температурной погрешностью выражается формулой

$$K = \frac{R_{\Pi}}{R_{\Pi} + \frac{RR_{\tau}}{R + R_{\tau}} + R_{\text{сх}}}$$

При обозначениях $R = aR_{\tau 0}$, $R_{\Pi} + R_{\text{сх}} = bR_{\tau 0}$, $R_{\tau} = mR_{\tau 0}$, где $R_{\tau 0}$ — сопротивление термистора при температуре градуировки, коэффициент передачи принимает вид

$$K = \frac{b - \frac{R_{\text{сх}}}{R_{\tau 0}}}{b + \frac{am}{a + m}}$$

а



б

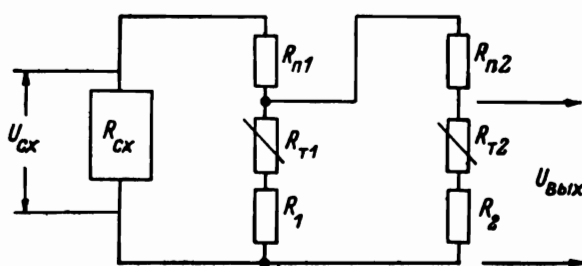


Рис. 1. Схема включения двухкаскадной цепи при отрицательной (а) и положительной (б) температурной погрешности.

$R_{\text{сх}}$ — выходное сопротивление измерительной схемы; R_{τ} — сопротивление термистора; R , R_{Π} — сопротивления термнезависимых резисторов. Индексы 1, 2 обозначают номер каскада.

При этом решение системы (1) выражается соотношением

$$a = \frac{m_1 m_3 (\delta_1 - \delta_3) + m_2 m_3 (\delta_3 - \delta_2) - m_1 m_2 (\delta_1 - \delta_2)}{m_2 (\delta_1 - \delta_3) + m_1 (\delta_3 - \delta_2) - m_3 (\delta_1 - \delta_2)}, \quad (2)$$

$$b = \frac{a}{\delta_1 - \delta_3} \left(\frac{\delta_3 m_1}{a + m_1} - \frac{\delta_1 m_3}{a + m_3} \right) = \frac{a}{\delta_3 - \delta_2} \left(\frac{\delta_2 m_3}{a + m_3} - \frac{\delta_3 m_2}{a + m_2} \right).$$

(При $\delta_3 = 1$ и $m_3 = 1$ формулы для коэффициентов a и b совпадают с приведенными в [1]. Двойная формула для коэффициента b дает возможность проверки точности предыдущего расчета.)

Аналогичное решение компенсационной цепи для схемы с положительной температурной погрешностью при введенных обозначениях $R = aR_{\tau 0}$, $R_{\Pi} + R_{\text{сх}} = bR_{\tau 0}$ имеет вид

$$b = \frac{(a + m_1)(a + m_3)(\delta_3 - \delta_2)}{\delta_1(a + m_1) - \delta_3(a + m_3)} = \frac{(a + m_2)(a + m_3)(\delta_3 - \delta_2)}{\delta_2(a + m_2) - \delta_3(a + m_3)},$$

коэффициент a определяется по формуле (2).

Методика расчета многокаскадных цепей зависит не только от знака температурной погрешности схемы, но и от цели применения многокаскадной компенсации, а именно, применяется ли многокаскадность для компенсации погрешности большой величины (для компенсации которой недостаточно одного термистора) или для уменьшения остаточной погрешности в промежуточных точках диапазона до требуемой величины.

При этом в обоих случаях формулы расчета аналитически одинаковы, различие расчета заключается в следующем. В первом случае, при компенсации погрешности большой величины, каждый каскад компенсирует часть погрешности на всем температурном диапазоне и расчет каждого каскада (после распределения температурной погрешности между ними) автономен и не зависит от расчета других каскадов. Исходный температурный коэффициент δ , характеризующий погрешность компенсируемой схемы, распределяется между всеми каскадами в любом (практически приемлемом) соотношении при условии, что $\delta^I, \delta^{II}, \dots, \delta^n = \delta$, где $\delta^I, \delta^{II}, \dots, \delta^n$ — температурные коэффициенты для расчета I, II, ..., n каскадов соответственно. Целесообразно брать $\delta^I = \delta^{II} = \dots = \delta^n = \sqrt[n]{\delta}$ (при этом формулы для расчета всех каскадов совпадают и численно) и в качестве точек компенсации выбирать не крайние точки температурного диапазона, а близлежащие к ним (что способствует более равномерному распределению остаточной погрешности).

Во втором случае, когда целью применения многокаскадности явля-

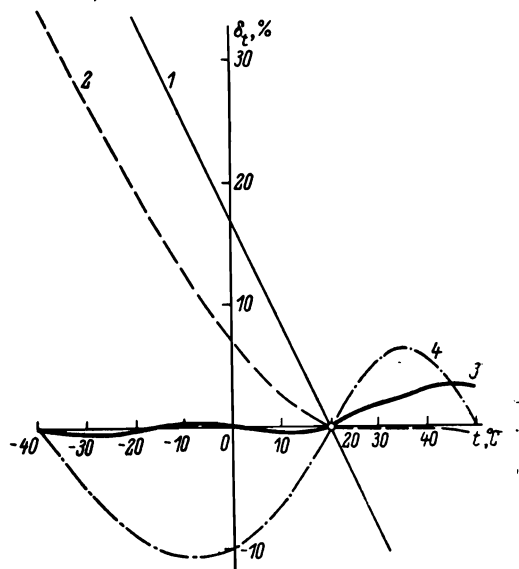


Рис. 2. Температурная зависимость δ_t выходного сигнала при одно- и двухкаскадной компенсации.

ется уменьшение остаточной погрешности в промежуточных точках диапазона, каждый каскад рассчитывается на некоторый поддиапазон так, чтобы скомпенсировать всю погрешность в этом поддиапазоне. Эффективность термокомпенсации в этом случае существенно зависит от выбора поддиапазона для каждого каскада. Принцип выбора заключается в том, что для первого каскада (первого по последовательности расчета, безотносительно к его местонахождению в схеме) берется поддиапазон, расположенный справа на температурной шкале (т. е. поддиапазон более высоких температур в данном диапазоне), и для каждого последующего каскада берется поддиапазон, расположенный справа в оставшейся части диапазона. Поддиапазоны выбираются такой величины, чтобы остаточная погрешность в промежуточных точках диапазона была приемлемой: практически I поддиапазон можно взять величиной в 30—40 °С, II — в 1.5—2 раза больше. I каскад рассчитывается на полную погрешность в первом поддиапазоне, после расчета I каскада определяется остаточная погрешность в остальной части диапазона (расчетным или экспериментальным путем), эта остаточная погрешность является исходной для расчета следующего каскада и т. д.

Влияние компенсационной цепи на термисторе на температурную характеристику схемы в соседних с расчетным поддиапазоном таково, что слева от расчетного поддиапазона температурная зависимость схемы уменьшается, а справа увеличивается. В силу этого расчет в другой последовательности (т. е. от более низких температур к более высоким) невозможен.

Результаты расчета каскадов термокомпенсации в указанной последовательности — от более высоких температур к более низким — проиллюстрированы на рис. 2. Температурная зависимость выходного сигнала компенсируе-

мой схемы (кривая 1) после введения первого каскада, рассчитанного на поддиапазон $20 \div 50$ °С принимает вид, представленный кривой 2. Второй каскад рассчитан на поддиапазон -40 ± 20 °С. Окончательная температурная характеристика выходного сигнала после введения двух каскадов представлена кривой 3. При исходной погрешности 80 % на диапазон 90 °С остаточная погрешность при двухкаскадной компенсации не превысила ± 3 % во всем диапазоне, в то время как при однокаскадной компенсации остаточная погрешность достигла ± 10 % (характеристика выходного сигнала при однокаскадной компенсации представлена кривой 4).

Таким образом, если в первом случае расчет каждого каскада независим от расчета остальных и каждый каскад компенсирует часть всей погрешности во всем температурном диапазоне, то во втором случае расчет каскадов ведется последовательно на различные поддиапазоны в зависимости от расчета предыдущего каскада, причем каждый каскад компенсирует всю величину погрешности в соответствующем диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов Н. А., Макарова С. Г. — Труды ЛИАП, 1976, вып. 94, с. 155.