

УДК 519.65 + 683

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЪЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ NTC ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ LABVIEW

Беляев А.О.

Технологический институт Южного федерального университета, г.Таганрог, Россия

Моделирование элементов измерительного канала температуры средств измерения, с целью прогнозирования его метрологических характеристик, позволят, оперируя параметрами моделей, добиваться минимизации суммарной погрешности измерения. Доклад посвящен описанию полученных в ходе исследования дискретных моделей и их программной реализации в среде разработки приложений LabView.

Введение

Терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (NTC терморезисторы) обладают рядом преимуществ, таких как: высокий ТКС, высокое электрическое сопротивление, высокая долговременная стабильность характеристик, устойчивость к механическим и химическим воздействиям, большое разнообразие форм и типоразмеров, малая инерционность. Что делает их привлекательными для применения во многих измерительных задачах. NTC терморезисторы так же обладают рядом недостатков, из-за которых они не нашли широкого применения в измерительной технике, к ним относятся: существенная нелинейность температурной характеристики сопротивления и разброс характеристик, требующий индивидуальной калибровки. Относительно каждого из недостатков NTC терморезисторов имеются частные решения, но отсутствует единая методика расчета метрологических характеристик измерительного канала температуры, построенного на базе данного типа чувствительных элементах. С этой целью были разработаны дискретные модели процессов съема и обработки сигналов NTC терморезисторов, на базе которых построены программные параметрические модели, объединенные в интегральную модель измерительного канала. В докладе представлено краткое описание дискретных моделей и результатов моделирования.

1 Модель NTC терморезистора

Для описания температурной характеристики сопротивления NTC терморезистора используется зависимость, аналогичная по форме записи зависимости Стейнхарта-Харта [1], но в данном случае значение коэффициента температурной чувствительности задается полиномиальной зависимостью 4-й степени. Дискретная математическая модель NTC терморезистора описывается выражением (1). Коэффициенты дискретной модели вычисляются исходя из табличных опорных значений $\{T_{\zeta}\}$ и $\{R_{T_{\zeta}}\}$. Существенным преимуществом разработанной дискретной модели NTC терморезистора относительно существующих моделей является возможность определения ее параметров по экспериментальным значениям, а так же использование полиномиальной зависимости

коэффициента температурной чувствительности. Разработанная модель описывает нестационарные тепловые процессы NTC терморезистора и учитывает эффект саморазогрева. Результаты исследования показали, что методическая погрешность использованного метода аппроксимации в разработанной дискретной модели NTC терморезистора значительно ниже, чем для классических аппроксимирующих зависимостей, используемых для описания температурной характеристики сопротивления данного типа термопреобразователей.

$$\left\{ \begin{array}{l} R_T = R_{T_0} \cdot \exp \left[\sum_{i=0}^4 B_i \cdot \theta^i \right]; \\ \sum_{\zeta=0}^M \left(\eta_{\zeta} - \sum_{i=0}^4 B_i \cdot \theta^i \right) \frac{\partial \sum_{i=0}^4 B_i \cdot \theta^i}{\partial B} = 0; \\ \theta_{\zeta} = \frac{1}{T_{\zeta}}; \\ \eta = \ln \left(\frac{R_T}{R_{T_0}} \right). \end{array} \right. \quad (1)$$

Замена переменных θ_{ζ} и η в системе (1) позволяет представить температурную зависимость сопротивления NTC терморезистора в виде линейного уравнения относительно вектора коэффициентов B_i , что существенно упрощает процесс их нахождения и дает возможность использовать любой из методов регрессионного анализа для их вычисления, в данном случае был использован МНК.

2 Модели процессов съема и обработки сигналов NTC терморезисторов

Для реализации возможностей исследования динамических тепловых процессов в цепях с NTC терморезисторами, входные параметры для моделей процессов съема и аналоговой обработки сигналов задаются в виде временных диаграмм различных воздействий (температура объекта, величина измерительного тока, опорное напряжение и т.д.), что позволяет получать временные диаграммы переходных тепловых процессов NTC терморезистора. Дискретные модели процессов аналоговой обработки основаны на уравнении теплового баланса контактного термопреобразователя [2, с. 255].

Измерительные цепи, используемые для построения средств измерения на их основе в первом приближении должны выполнять функцию омметра на постоянном токе. Использование компенсационных и логометрических методов неприменимо в задачах построения цифровых измерительных систем. В научной литературе, а так же производителями в качестве измерительных цепей на основе NTC терморезисторов предлагаются цепи двух типов: измерительные мосты и терморезисторные делители напряжения. Использование мостовой схемы наиболее выгодно для контроля температуры, поскольку позволяет установить точку регулирования, при которой плечи моста сбалансированы. Другим вариантом измерительной цепи является управляемый источник измерительного тока, он сложнее в реализации, но его использование позволяет существенно расширить интервал рабочих температур терморезистора при сохранении чувствительности измерительной цепи.

Дискретная математическая модель измерительной цепи с источником тока описывается уравнением:

$$I_{\xi}^2 \cdot R_{T0} \cdot \exp \left[\sum_{i=0}^4 B_i \left(\frac{1}{T_{\xi}} \right)^i \right] + \delta(T_{\xi} - \Theta_{\xi}) + C \frac{\Delta T_{\xi}}{\Delta t_{\xi}} = 0 \quad (2)$$

где I_{ξ} - значения измерительного тока, R_{T0} - номинальное сопротивление терморезистора, B_i - вектор коэффициентов аппроксимирующей функции, T_{ξ} - значения температуры NTC терморезистора, θ_{ξ} - значения температуры окружающей среды, C - теплоемкость терморезистора, t_{ξ} - временные метки отсчетов.

При использовании в качестве измерительной цепи терморезисторного делителя напряжения, в зависимости от того в какое из плеч делителя включен NTC терморезистор, дискретные модели будут отличаться. Так для делителя с терморезистором в верхнем плече дискретная модель процесса аналогового преобразования описывается уравнением:

$$\left[\frac{U_{\xi} \left(R_1 / R_1 + R_{T0} \cdot \exp \left[\sum_{i=0}^4 B_i \left(\frac{1}{T_{\xi}} \right)^i \right] \right)}{R_1} \right]^2 + \delta(T_{\xi} - \Theta_{\xi}) + C \frac{\Delta T_{\xi}}{\Delta t_{\xi}} = 0 \quad (3)$$

где R_1 - шунтирующее сопротивление делителя.

Основной задачей процессов цифровой обработки сигналов NTC терморезисторов является вычисление температуры чувствительного элемента на основании поступающих с выхода АЦП квантованных значений выходного напряжения измерительной цепи.

Помимо самой градуировочной характеристики, являющейся, по сути, функцией преобразования квантованного входного напряжения АЦП в значение температуры, так же входят численные методы расчета коэффициентов этих функций.

Дискретные модели процесса цифровой обработки сигнала NTC терморезистора основанные на использовании линейной градуировочной характеристики применимы исключительно в случае использования в качестве измерительной цепи терморезисторного делителя напряжения, поскольку в этих случаях на узких интервалах температур зависимость выходного напряжения цепи от температуры может приближенно считаться линейной. В общем случае, линейная градуировочная характеристика для терморезисторного делителя напряжения может быть записана в виде:

$$\begin{cases} T_{\chi} = A \cdot M_{\chi} \cdot \left(\frac{U_{оп}}{2^N} \right) + B; \\ A = \frac{1}{U_{\chi} \cdot \phi_F}; \\ B = T_1 - \frac{F(T_1)}{\phi_F}; \\ \phi_F = \frac{\Delta F}{\Delta T} = \frac{F(T_2) - F(T_1)}{T_2 - T_1}. \end{cases} \quad (4)$$

где $U_{он}$ - опорное напряжение АЦП, M_{χ} - выходное значение АЦП в квантах, U_{χ} - значение опорного напряжения делителя, ϕ_F - чувствительность делителя в рабочей точке. $F(T_1)$ и $F(T_2)$ - значения стандартной функции терморезисторного делителя [3]

при температурах T_1 и T_2 соответственно.

Для аппроксимации температурной зависимости терморезистора в составе делителя так же могут быть использованы зависимости Стейнхарта-Харта, в таком случае градуировочная характеристика будет иметь вид:

$$\begin{cases} T_x = [A + B[\ln(R_{Tx})] + C[\ln(R_{Tx})]^2 + D[\ln(R_{Tx})]^3]^{-1}; \\ R_{Tx} = R_1 \left(\frac{2^N U_x}{M_x U_{оп}} - 1 \right). \end{cases} \quad (5)$$

При использовании полной зависимости Стейнхарта-Харта, для вычисления коэффициентов достаточно четырех опорных точек, а сам расчет может быть выполнен любым способом решения системы линейных уравнений. В случае если опорных точек 5 и более, то может быть использован любой из методов регрессионного анализа.

Аналогичным образом производится расчет коэффициентов при использовании неполной аппроксимирующей зависимости Стейнхарта-Харта, вида:

$$\begin{cases} T_x = [A + B[\ln(R_{Tx})] + D[\ln(R_{Tx})]^3]^{-1}; \\ R_{Tx} = R_1 \left(\frac{2^N U_x}{M_x U_{оп}} - 1 \right). \end{cases} \quad (6)$$

При использовании в качестве измерительной цепи управляемого источника тока, выходное напряжение прямо пропорционально сопротивлению терморезистора и не может быть аппроксимировано линейной зависимостью. В данном случае применимы лишь полная и неполная зависимости Стейнхарта-Харта. Градуировочная характеристика с использованием полной зависимости Стейнхарта-Харта имеет вид:

$$\begin{cases} T_x = [A + B[\ln(R_{Tx})] + C[\ln(R_{Tx})]^2 + D[\ln(R_{Tx})]^3]^{-1}; \\ R_{Tx} = M_x \frac{U_{оп}}{2^N I_x}. \end{cases} \quad (7)$$

Аналогично, отбрасывая квадратичный член, получим градуировочную характеристику при использовании не полной зависимости Стейнхарта-Харта:

$$\begin{cases} T_x = [A + B[\ln(R_{Tx})] + D[\ln(R_{Tx})]^3]^{-1}; \\ R_{Tx} = M_x \frac{U_{оп}}{2^N I_x}. \end{cases} \quad (8)$$

3 Программная реализация моделей

Модель NTC терморезистора, а так же каждого из процессов съема и обработки его сигналов была реализована в виде отдельного приложения (виртуального прибора) в среде разработки приложений LabView. Такой подход позволил производить отладку и исследование модели каждого процесса, как в отдельности, так и в составе интегральной модели измерительного канала температуры, структура интегральной модели представлена на рис. 1. Расчет параметров модели NTC терморезистора реализован отдельным приложением, которое позволяет производить вычисление коэффициентов аппроксимирующей функции с одновременным анализом погрешности аппроксимации

на основании исходных данных (полученных экспериментально или из документации производителя). Анализ исходных данных для моделирования производится с использованием модифицированного метода разностей [4].

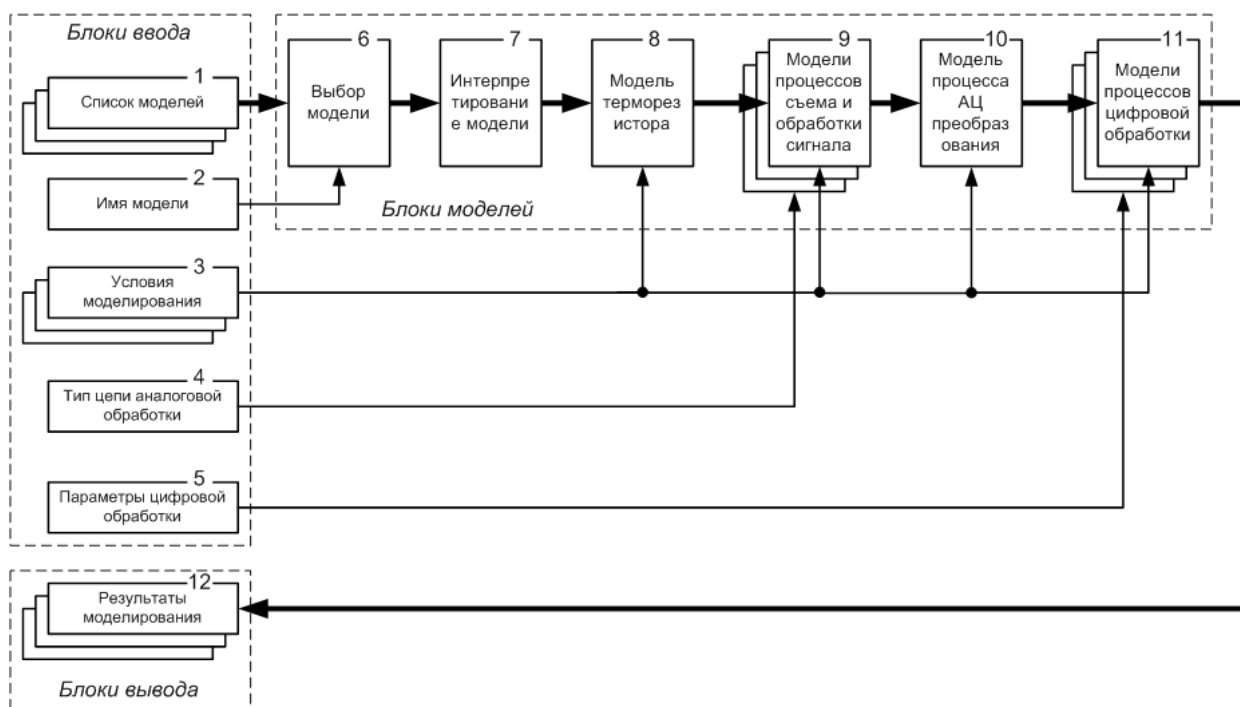


Рисунок 1. Структура интегральной модели измерительного канала температуры

Выводы

В ходе исследования были разработаны модели более чем 60 NTC терморезисторов различных производителей, погрешность аппроксимации их температурной зависимости сопротивления варьируется в пределах от 0,003% до 0,6% и существенно зависит от погрешности исходных данных. В ходе моделирования различных конфигураций измерительного канала температуры была доказана возможность использования термопреобразователей данного типа для точного измерения температуры, так суммарная погрешность измерения температуры при помощи терморезистора B57540G0502+002 (Epcos) в диапазоне от минус 55 до 125 °С, при использовании к качестве измерительной цепи терморезисторного делителя, 16-и битного АЦП и градуировочной характеристики в виде полной зависимости Стейнхарта-Харта не превысила 0,1 °С.

Перечень источников

- [1] Steinhart, J. S. Calibration curves for thermistors / J. S. Steinhart, S. R. Hart // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, №4, 1968. – p. 497-503.
- [2] Левшина, Е.С. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи) / Е.С. Левшина, В.П. Новицкий – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с., ил.
- [3] Webster, J.G. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook / J.G. Webster - CRC PRESS, 1999. – 1500 p.
- [4] Норкин С.Б. Элементы вычислительной математики / С.Б. Норкин, Р.Я. Берри, И.А. Жабин и др. – М.: Высшая школа 1966. – 208 с.