

УДК 681.2

А.В. Вовна , А.А. Зори , В.П.Тарасюк

## АЛГОРИТМ И ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

*Аннотация.* Вовна А.В. , Зори А.А., Тарасюк В.П. Алгоритм и имитационная математическая модель измерительного канала температуры для обработки экспериментальных данных. Предложен алгоритм и имитационная математическая модель измерительного канала температуры, которые позволяют производить альтернативный выбор вариантов схемных решений и дают возможность подбора наиболее приемлемых элементов структуры для различных измерительных каналов информативно-измерительных приборов и систем.

**Ключевые слова:** алгоритм, математическая модель, имитационное моделирование, измерительный канал

*Abstract.* Vovna A.V., Zory A.A., Tarasyk V.P. Algorithm and simulation mathematical model of measuring channel of temperature for the experimental data processing . An algorithm and simulation mathematical model measuring channel of temperature is offered , which allow to produce the alternative choice of variants of scheme decisions and enable selection of the most acceptable elements of structure for different measuring channels of informatively-measuring devices and systems.

**Keywords:** algorithm, mathematical model, imitation design, measuring channel

**Общая постановка проблемы.** В данный момент в промышленности актуальным вопросом является диагностика технического состояния оборудования, например, перегрева рабочих органов. Своевременное обнаружение аномального состояния препятствует созданию аварийной ситуации и остановке производства, благодаря быстрдействию системы мониторинга. В ряде случаев влияние температуры на рабочие органы приводит к изменению их физических параметров, например, температурного коэффициента линейного расширения металла, что приводит к аварийным ситуациям .

**Постановка задач исследования.** Данную проблему позволяют решать методы неразрушающего контроля, в основе которых лежит принцип обработки сигналов измерительных каналов (виртуальный и реальный). Как правило, измерительный канал представляет собой высокоточный (прецизионный) измерительный преобразователь с датчиками, которые могут быть включены непосредственно или посредством мостовых схем. Расчеты и обеспечение требуемых метрологических характеристик и пара-

метров измерительного канала целесообразно проводить с использованием математической модели и имитационного моделирования [1].

Основным вопросом при составлении математической модели, является обеспечение ее адекватности реальному объекту. Разработанная математическая модель должна, с одной стороны, отражать свойства реального измерительного канала с требуемой степенью точности, а с другой - быть не слишком сложной, что предопределяет получение конечного результата доступными средствами. Следовательно, возникает задача построения алгоритма моделирования и обработки экспериментальных данных, и разработки математических моделей элементов структуры измерительного канала температуры.

**Общие положения алгоритма моделирования измерителя и его математической модели.** Структурной единицей рассматриваемой системы является канал измерения температуры на основе измерительного моста и терморезистора (датчика). Структурная схема измерителя температуры приведена на рис. 1. [2].

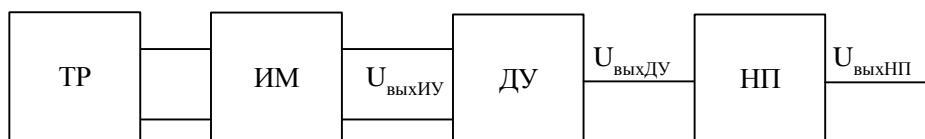


Рис.1. Структурная схема измерительного усилителя

Данная схема состоит из трех функциональных блоков:

- измерительный мост (ИМ), в одно из плеч которого включен терморезистор (ТР);
- дифференциальный усилитель (ДУ), который усиливает сигнал измерительного моста до требуемого значения напряжения на выходе, которое пропорционально значению измеренной температуры;
- нормирующий преобразователь (НП), который преобразует сигнал дифференциального усилителя в требуемое нормированное напряжение на выходе для дальнейшей его обработки в микропроцессорных информационно-измерительных системах или компьютерах.

Для моделирования терморезистора и измерительного моста в EWB 5.12 PRO необходимо реализовать нелинейный входной сигнал, обусловленный нелинейностью терморезистора. Для этого воспользуемся встроенным элементом – полиномиальным источником напряжения (см. рис. 2), для преобразования сигнала температуры (в качестве сигнала температуры выступает сигнал напряжения с известной амплитудой), в напряжение, пропорциональное изменению сопротивления терморезистора.

Полиномиальный источник — это источник напряжения, которым управляет определенная многочленная функция преобразовательного типа. Напряжением выхода, как функция напряжений на входах  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$ , описывается следующим выражением:

$$V_{OUT} = A + B \cdot V_1 + C \cdot V_2 + D \cdot V_3 + E \cdot V_1 \cdot V_1 + F \cdot V_1 \cdot V_2 + G \cdot V_1 \cdot V_3 + H \cdot V_2 \cdot V_2 + I \cdot V_2 \cdot V_3 + J \cdot V_3 \cdot V_3 + K \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot V_3,$$

где A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K соответствующие коэффициенты полинома. В модели используются коэффициенты A, B, E, K, так для получения требуемой погрешности аппроксимации градуировочной характеристики терморезистора достаточно третьей степени аппроксимирующего полинома [3].

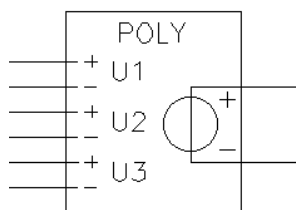


Рис. 2. Полиномиальный источник напряжения

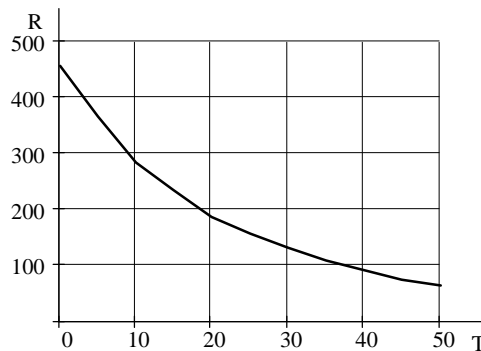


Рис.3. Зависимость R(T) терморезистора

При этом возникает необходимость определения значений этих коэффициентов. При экспериментальных исследованиях были проведены многократные замеры сопротивления терморезистора при изменении температуры от 0 до 50°C, в результате чего построена экспериментальная зависимость (см.рис.3), которая аппроксимируется полиномом с помощью метода наименьших квадратов.

Наибольшей чувствительностью обладает симметричный мост. Для средней точки диапазона измеряемой температуры ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ), при которой значение сопротивления терморезистора составляет 155 Ом, остальные три резистора моста применены с тем же номинальным значением.

Определим изменение напряжения на выходе моста при изменении температуры  $Em(T)$ :

$$Em(T) = U_g \cdot \frac{R(T) \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{(R(T) + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}$$

Данную зависимость аппроксимируем полиномом с помощью МНК:

$$TU_{i,j} = \sum_{k=0}^{n_i-1} (T_k)^{i+j}; \quad EmT_i = \sum_{k=0}^{n_i-1} Em_k \cdot (T_k)^i; \quad B = TU^{-1} \cdot EmT$$

Установим вектор значений B, который содержит коэффициенты полиномиальной функции  $V_{OUT} = A + B \cdot V_1 + E \cdot V_1 \cdot V_1 + K \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot V_3$ , для установки параметров полиномиального источника напряжения в EWB 5.12 PRO. Для моделирования выходного напряжения измерительного моста воспользуемся двумя полиномиальными источниками напряжения [2], в связи с использованием дифференциального усилителя на выходе измерительного моста.

Получение математической модели ДУ выполнено на основе схемы, состоящей из трех операционных усилителей, два из которых ( $DA_1$  и  $DA_2$ ) обеспечивают высокое входное сопротивление и требуемое подавление синфазного сигнала, а третий ( $DA_3$ ) - вычитание выходных сигналов  $DA_1$  и

DA<sub>2</sub>. На выходах ДУ и НП получаем характеристики преобразования, которые приведены на рис. 4 и 5.

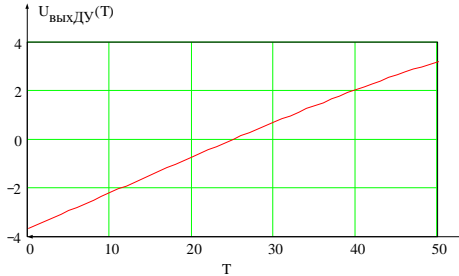


Рис.4. Зависимость выходного напряжения ДУ от температуры

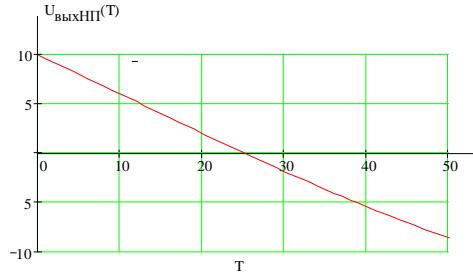


Рис.5. Зависимость выходного напряжения НП от температуры

Путем трансляции данных рассчитанной математической модели в EWB, получаем модель усилителя с измерительным мостом, которая приведена на рис. 6.

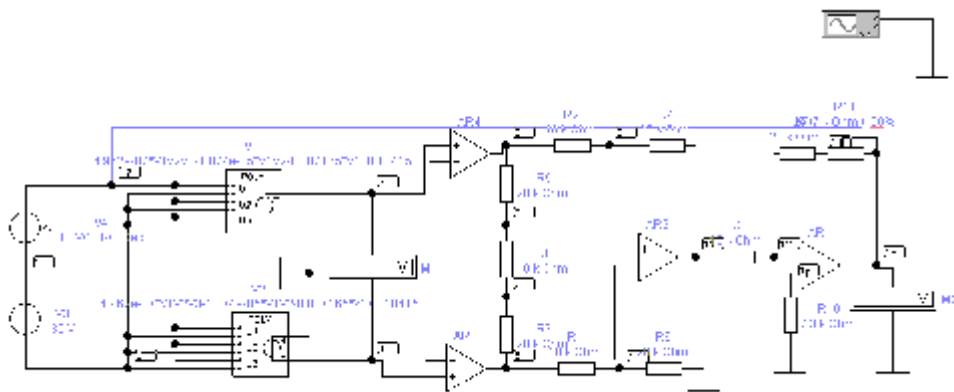


Рис.6. Модель измерительного канала температуры

Характеристики преобразования на выходах ДУ и НП, которые получены с учетом рассмотренной модели (рис. 6) в EWB 5.12 PRO приведены на рис. 7 и 8.

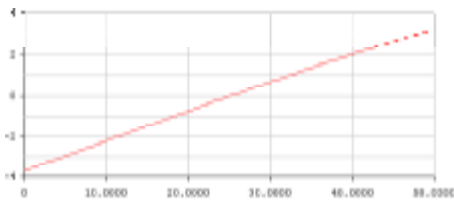


Рис.7. Зависимость выходного напряжения ДУ в EWB 5.12 PRO от температуры

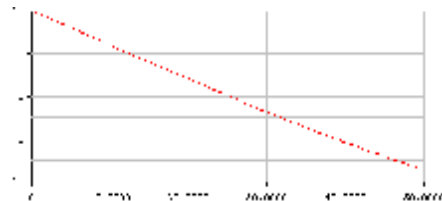


Рис.8. Зависимость выходного напряжения НП в EWB 5.12 PRO от температуры

В процессе имитационного моделирования измерительного канала температуры рассчитаны значения чувствительности измерителя (0,14 В/°С и 0,4 В/°С на выходах ДУ и НП соответственно), произведен анализ переходных процессов, спектральный анализ, исследовано влияние температуры на аналоговые полупроводниковые элементы измерителя.

Экспериментально установлено, что показатели точности при измерении температуры с помощью полученных имитационных моделей, по сравнению с опытными образцами приборов не выходят за допустимые пределы. Так, относительная погрешность измерения температуры при имитационном моделировании и согласно экспериментальных данных лежит в диапазоне (0,5...1) %.

Укрупненный алгоритм имитационного моделирования и обработки экспериментальных данных состоит из следующих процедур:

- построение структурной схемы измерительного канала;
- получение и обработка экспериментальных данных;
- аппроксимация входного сигнала для определения значений коэффициентов аппроксимирующего полинома;
- трансляция данных предложенных математических моделей в пакет прикладных программ и реализация нелинейного входного сигнала при помощи полиномиального источника;
- оценки адекватности полученных моделей.

#### ***Выводы.***

1. Разработан алгоритм имитационного моделирования и математические измерительного канала температуры, обеспечивающие реализацию в соответствующих пакетах прикладных программ.

2. При сравнении рассчитанных характеристик преобразования в MathCad с полученными в результате моделирования в EWB 5.12 PRO установлено, что разработанные математические модели адекватны реальным измерительным каналам, с ошибкой, значение которой не превышает (0,5...1) %.

3. Алгоритм имитационного моделирования измерительного канала температуры позволяет производить альтернативный выбор вариантов схемных решений и возможность подбора наиболее приемлемых элементов структуры для различных измерительных каналов информационно-измерительных приборов и систем.

#### ***Литература***

1. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль.— М: Высшая школа, 1991. – 283 с.

2. Зорі А.А. Електронні системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ: [навчальний посібник] /А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламова. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2002. –352 с.

3. Герашенко О.А., Справочник: [температурные измерения]– К.: Наукова думка, 1984. – 495 с.