

Zemlyakov Victor Leonidovich

Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University".

E-mail: decanat@fvt.sfedu.ru.

105/42, Bolshaya Sadovaya street, 344006, Rostov-on-Don, Russia.

Phone: +78632633158; +78632638498.

УДК 681.2

А.В. Вовна, А.А. Зори, В.П. Тарасюк

**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 информационно-измерительных приборов и систем.

Алгоритм; математическая модель; имитационное моделирование; измерительный канал.

A.V. Vovna, A.A. Zory, V.P. Tarasyk

**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.

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 параметров 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 кана-

ла 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].

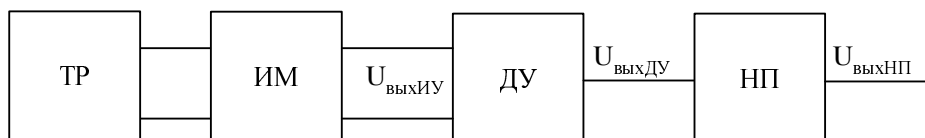


Рис. 1. Структурная схема измерительного усилителя

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 (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].

При этом возникает необходимость определения значений этих коэффициентов. При экспериментальных исследованиях были проведены многократные замеры сопротивления терморезистора при изменении температуры от 0 до 50° С, в результате чего построена экспериментальная зависимость (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 сопро-

тивления терморезистора составляет 155 Ом, остальные три резистора моста применены с тем же номинальным значением.

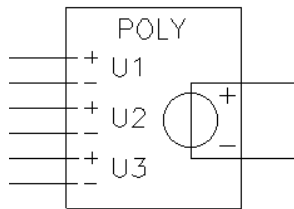


Рис. 2. Полиномиальный источник напряжения

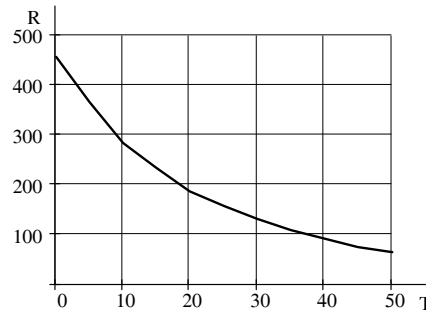


Рис.3. Зависимость $R(T)$ терморезистора

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:

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

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_2 . На выходах ДУ и НП получаем характеристики преобразования, которые приведены на рис. 4 и 5.

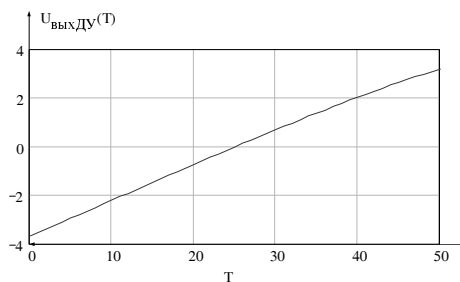


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения ДУ от температуры

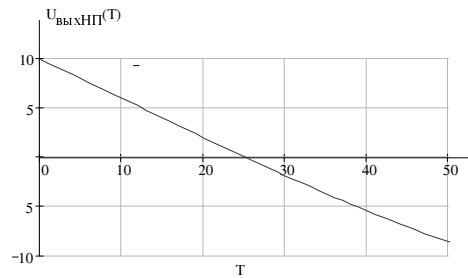


Рис. 5. Зависимость выходного напряжения НП от температуры

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

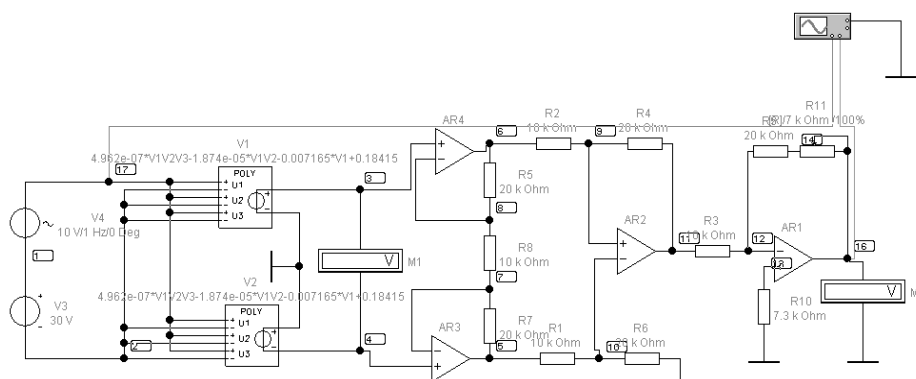


Рис. 6. Модель измерительного канала температуры

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.

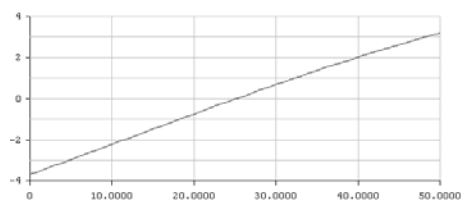


Рис. 7. Зависимость выходного напряжения ДУ в EWB 5.12 PRO от температуры

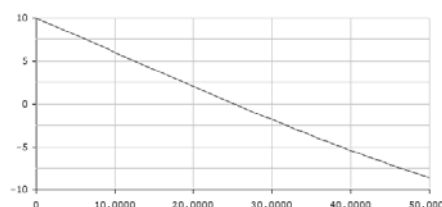


Рис. 8. Зависимость выходного напряжения НП в EWB 5.12 PRO от температуры

В процессе имитационного моделирования измерительного канала температуры рассчитаны значения чувствительности измерителя ($0,14 \text{ В}/^\circ\text{C}$ и $0,4 \text{ В}/^\circ\text{C}$ 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 $(0,5...1) \%$.

У крупный 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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. Коренев, М.Г. Хламова. – Донецьк: РВА Дон-НТУ, 2002. –352 с.
3. Геращенко О.А. Справочник: [температурные измерения]. – К.: Наукова думка, 1984. – 495 с.

Вовна Александр Владимирович

Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет».

E-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, Украина.

Тел.: +380623040108.

Зори Анатолий Анатолиевич

E-mail: zori@kita.dgtu.donetsk.ua.

Тел.: +380623045571; +380623010942.

Тарасюк Виктория Павловна

E-mail: vita_post@mail.ru.

Vovna Aleksander Vladimirovich

Higher Educational Establishment «Donetsk National Technical University».

E-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

58, Artyom street, Donetsk, 83001, Ukraine.

Phone: +380623040108.

Zori Anatolii Anatolievich

E-mail: zori@kita.dgtu.donetsk.ua.

Phone: +380623045571; +380623010942.

Tarasyuk Victoria Pavlovna

E-mail: vita_post@mail.ru.

УДК 621.313

А.В. Пашковский

МЕТОД СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМООБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Иллюстрируются возможности разработанного комбинированного метода стандартных и конечных элементов, обладающего повышенной точностью решения при небольшой степени дискретизации расчетной среды, наличии в ней точек с особенностями решения, тонких включений, осцилляции решения в кусочно-однородных двух- и трехмерных средах. Приведены результаты прикладного расчета температурного поля якоря тя-