

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В.П. Тарасюк, А.А. Зори, А.В. Вовна, Р.И. Соломичев
Донецкий национальный технический университет
кафедра электронной техники
vita_post@mail.ru

Рассмотрена реализация способа имитационного моделирования измерительного канала температуры на основе экспериментальных данных. Предложена математическая модель измерителя и представлены результаты экспериментальных исследований.

Общая постановка проблемы. В данный момент в промышленности актуальным вопросом является отслеживание технического состояния оборудования, например, перегрев рабочих органов. Своевременное обнаружение аномального состояния препятствует созданию аварийной ситуации и остановке производства, благодаря быстродействию системы мониторинга. В ряде случаев очень существенно влияние температуры на рабочие органы, что приводит к изменению их физических параметров, например, температурного коэффициента линейного расширения металла, из которого данное оборудование изготовлено и может привести к аварийным ситуациям .

Данную задачу позволяют решать методы неразрушающего контроля, в основе которых лежит принцип обработки измерительных сигналов. Как правило, измерительный канал представляет собой высокоточный (прецизионный) измерительный усилитель с датчиками, которые могут быть включены непосредственно на вход усилителя или посредством мостовых схем. Расчеты и обеспечение требуемых основных характеристик и параметров измерителя целесообразно проводить с использованием его имитационного моделирования [1].

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

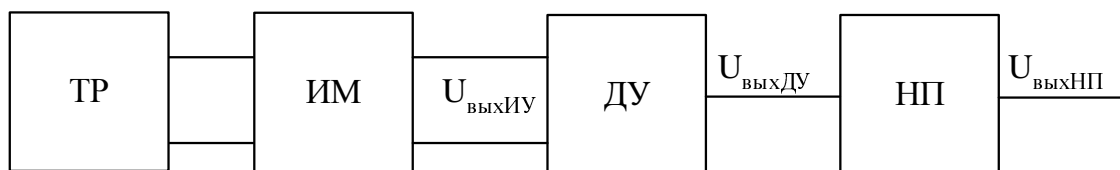


Рис.1. Структурная схема измерительного усилителя

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 в требуемое значение напряжения на выходе, которое пропорционально значению измеренной температуры;
- нормирующий преобразователь (НП), который усиливает сигнал дифференциального усилителя в требуемое нормированное напряжения 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 можно воспользоваться 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.

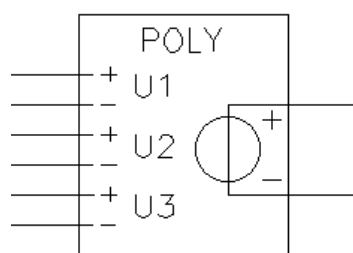


Рис. 2. Полиномиальный источник напряжения

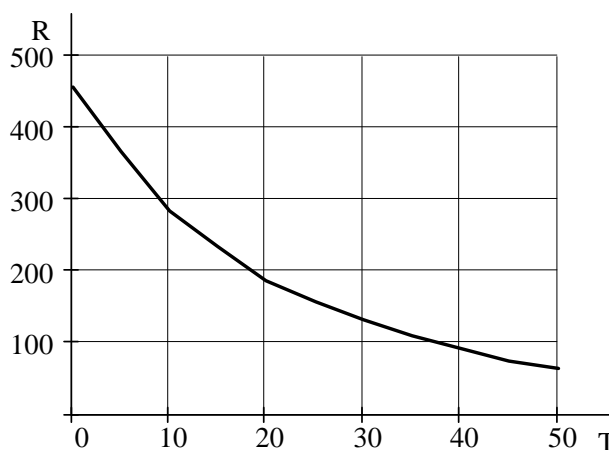


Рис.3. Зависимость $R(T)$ терморезистора

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 А, В, С, D, E, F, G, H, I, J, K соответствующие коэффициенты полинома. В модели используются коэффициенты А, В, E, K, так для получения минимальной 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°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 (Т=25°C), при которой значение сопротивления составляет 155 Ом, остальные три резистора моста применяются с тем же номинальным значением.

Рассчитывается пропорциональное изменение напряжения при изменении температуры Em(T):

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

Данную зависимость аппроксимируют полиномом с помощью МНК:

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

В результате определен вектор значений В, 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 сводится к расчету схемы, состоящей из трех операционных усилителей, два из которых (DA₁ и DA₂) обеспечивают высокое входное сопротивление и требуемое подавление синфазного сигнала, а третий (DA₃) вычитание выходных сигналов DA₁ и DA₂. На выходах ДУ и НП получаем характеристики преобразования, которые приведены на рис. 4 и 5.

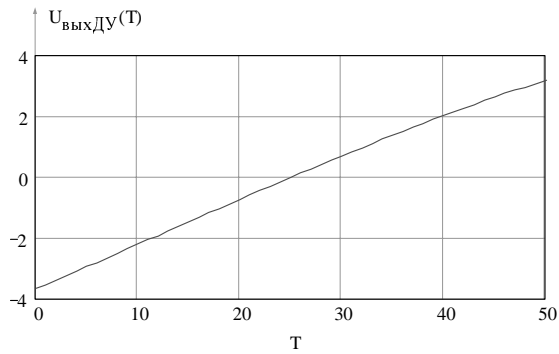


Рис.4. Зависимость выходного напряжения ДУ от температуры

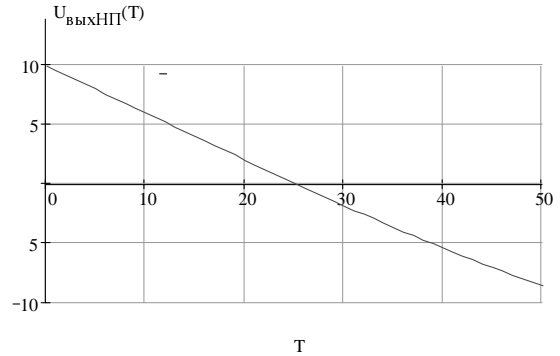


Рис.5. Зависимость выходного напряжения НП от температуры

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

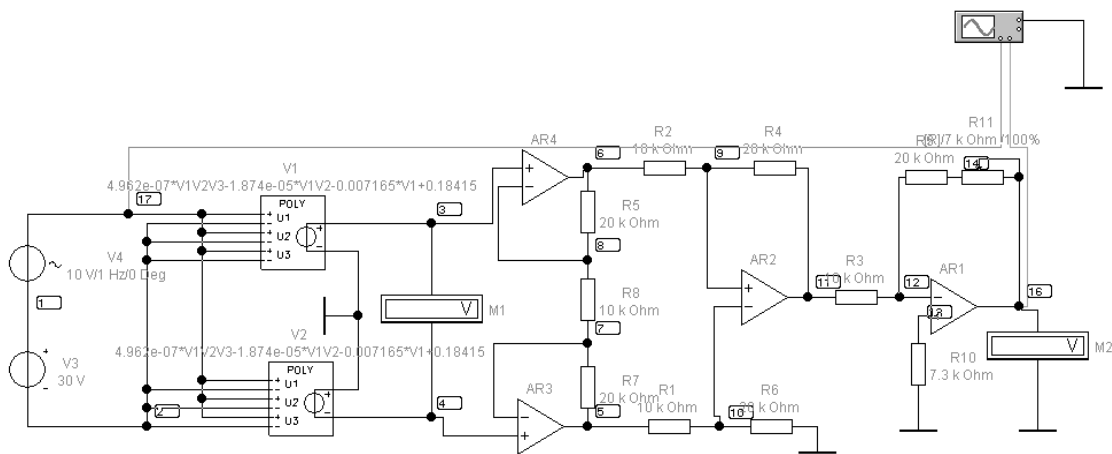


Рис.6. Модель измерительного канала температуры

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.

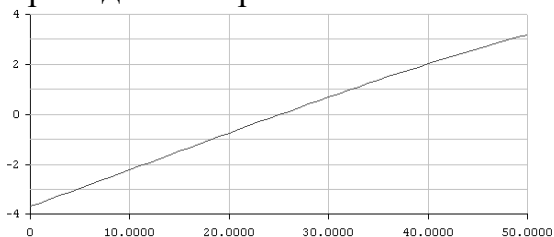


Рис.7. Зависимость выходного напряжения ДУ в EWB 5.12 PRO от температуры

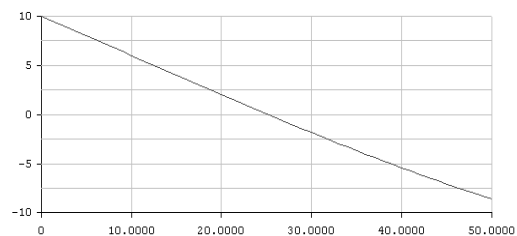


Рис.8. Зависимость выходного напряжения НП в EWB 5.12 PRO от температуры

В процессе имитационного моделирования измерительного канала температуры установлены значения чувствительности измерителя ($0,14 \text{ В}/^\circ\text{С}$ и $0,4 \text{ В}/^\circ\text{С}$ на выходах ДУ и НП соответственно), произведен анализ переходных процессов, спектральный анализ, исследовано влияние температуры на аналоговые полупроводниковые элементы.

Экспериментально установлено, что показатели точности при измерении температуры в полученных имитационных моделях, 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 ($0,5 \dots 1$) %.

Выводы.

1. Разработана имитационная математическая модель измерителя, пригодная для дальнейшей алгоритмизации с реализацией 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 ($0,5 \dots 1$) %.

3. Полученная имитационная модель измерительного канала температуры позволяет производить альтернативный выбор вариантов схемных решений и возможность подбора наиболее приемлемой элементной базы для различных измерительных каналов информационно-измерительных приборов и систем.

Литература

1. Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль / В.В. Сухоруков – 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. Геращенко О.А., Справочник: [температурные измерения] / О.А. Геращенко, А.Н. Гордов, В.И. Лах [и др.]. – К.: Наукова думка, 1984. – 495 с.

Получено 28.05.09