

РУБРИКА 2: Научные и технические разработки

Направление – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

УДК [UDC] 62-531.7

DOI 10.17816/transsyst20206285-93

© Т. А. Раянов

Санкт-Петербургский Государственный университет
морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
(Санкт-Петербург, Россия)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ В ПРОГРАММЕ MATLAB SIMULINK

Введение: В последнее время огромную популярность получили современные тензометрические системы измерения, которые применяются в автомобильном, железнодорожном, авиационном и судовом транспорте, а также в целлюлозной, бумажной, металлургической промышленности. Данные метрологические системы обеспечивают точное измерение в сложных эксплуатационных условиях. Наибольшую популярность среди датчиков силы получили тензометрические датчики, они все больше применяются в различных областях морской эксплуатации и судопроизводства. Они являются оптимальным решением в области измерения

Цель: Создание программой модели тензометрической системы измерения. Анализ выходных характеристик.

Методы и материалы: В статье описана конструкция математической модели тензометрической системы измерения. Для моделирования использовалась библиотека программы MATLAB SIMULINK. Работа основана на математическом моделировании и направлена на создание компьютерной тензометрической модели измерения. Проанализированы выходные характеристики. Проверена точность измерения программной модели с помощью проверки сходимости фактического и измеренного значения.

Результаты: Создана программная модель тензометрической системы измерения для создания реальной компьютерной тензометрической системы измерения. Получены выходные характеристики.

Выводы:

- Предложена программная модель тензометрической системы измерения;
- Произведено исследование выходных характеристик и проверка точности измерения.

Ключевые слова: тензометрический датчик, мультиплексор, дифференциальный усилитель.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Mathematical Modeling, Numerical Methods and Program Complexes

© **T. A. Raianov**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
(St. Petersburg, Russia)

MATHEMATICAL MODELING OF A STRAIN GAUGE MEASUREMENT SYSTEM IN MATLAB SIMULINK PROGRAM

Background: In recent years, modern strain gauge systems for measuring, which are used in automobile, railway, aviation, and ship transport, as well as in the pulp, paper, and metallurgical industries, have become extremely popular. These metrological systems provide accurate measurement in difficult operating conditions. The most popular among sensors are strain gauges, they are increasingly used in various areas of marine operations and legal proceedings. They are the optimal solution in the field of torque measurement.

Aim: The program creates a model of a strain gauge measurement system. Analysis of power output characteristics.

Methods: The article describes the construction of a mathematical model of the strain gauge measurement system. The MATLAB SIMULINK library was used for simulation. The work is based on mathematical modeling and is aimed at creating a computer-based strain gauge model. The output characteristics are analyzed. The accuracy of the software model measurement was verified by checking the convergence of the actual and measured values.

Results: A software model of the strain gauge force measurement system was created to create a real computer strain gauge measurement system. Output characteristics are obtained.

Conclusions:

- A software model of the strain gauge measurement system is proposed;
- The output characteristics were studied and the measurement accuracy was checked.

Keywords: strain gauge, multiplexer, differential amplifier.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное моделирование различных измерительных систем стало важным инструментом для специалистов, работающих со сложными следящими системами автоматического управления. Наиболее распространенные причины обращения к моделированию - невозможность экспериментальной реализации исследования или непомерные издержки тестирования реальной системы [1]. Моделирование измерительных систем сопряжено со специфическими особенностями, поскольку такие задачи нельзя описать при помощи нескольких дискретных переменных, но их можно лучше понять, если использовать математические функции. Примером моделирования измерительной системы может быть создание

математической модели тензометрической системы измерения [2]. Для решения данной задач можно использовать профессиональные пакет MATLAB, PYTHON и т. д.

Данные программы содержат мощные встроенные методы, которые позволяют проводить самые разнообразные вычисления. Можно также легко использовать графические команды, поэтому доступна мгновенная визуализация полученных результатов. Для разработки данной математической модели использована программа MATLAB-SIMULINK

ПРИНЦИП РАБОТЫ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Измерение деформации с помощью тензорезистивных преобразователей одно из самых сложных в технике электрических измерений. Сложность определяется малым диапазоном изменения сопротивления тензорезистора под воздействием деформации. Изменения сопротивления тензодатчика чрезвычайно малы и составляют для 100 Ом датчика около 0,0002 Ом на деформацию 1 мкм/м. Таким образом, деформация 1000 мкм/м (соответствующая приращению напряжения в стали примерно 200 МПа) изменяет сопротивление 100 Ом датчика на 0,2 Ом. Для преобразования столь малых изменений сопротивления в выходные сигналы напряжения, которые могут регистрироваться, в измерительных приборах широко используется в основном мостовая схема. Чтобы измерять столь малое изменение сопротивления и скомпенсировать температурную погрешность, тензодатчики практически всегда используют в мостовой схеме, подключенной к источнику напряжения или тока (источнику питания моста). Стоит отметить, что общепринятого стандарта для питания моста не существует. Типовыми являются напряжения 3 В и 10 В. Ток через тензодатчик обычно составляет от 2 мА до 30 мА для датчиков с сопротивлением от 1 кОм до 120 Ом.

Измерительный мост принято изображать в виде ромба, стороны которого называют плечами, а точки соединения плеч – вершинами или узлами моста. Мост Уинстона с питанием от источника постоянного напряжения состоит из трех функциональных частей Рис. 1 [3].

Это источник напряжения U , четыре резистора (R_1, R_2, R_3, R_4), образующие мост, и регистрирующая схема, включающая резистор нагрузки R_M . В приведенных ниже уравнениях полагается $R_M = \infty$, так, что ток, протекающий через мост, не отвлекается в нагрузку. Такая ситуация наблюдается, когда сигнал с мостовой схемы поступает на вход электронного усилителя или аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Выходное напряжение моста Уинстона (разность напряжений точек В и Д) определяется соотношением (1).

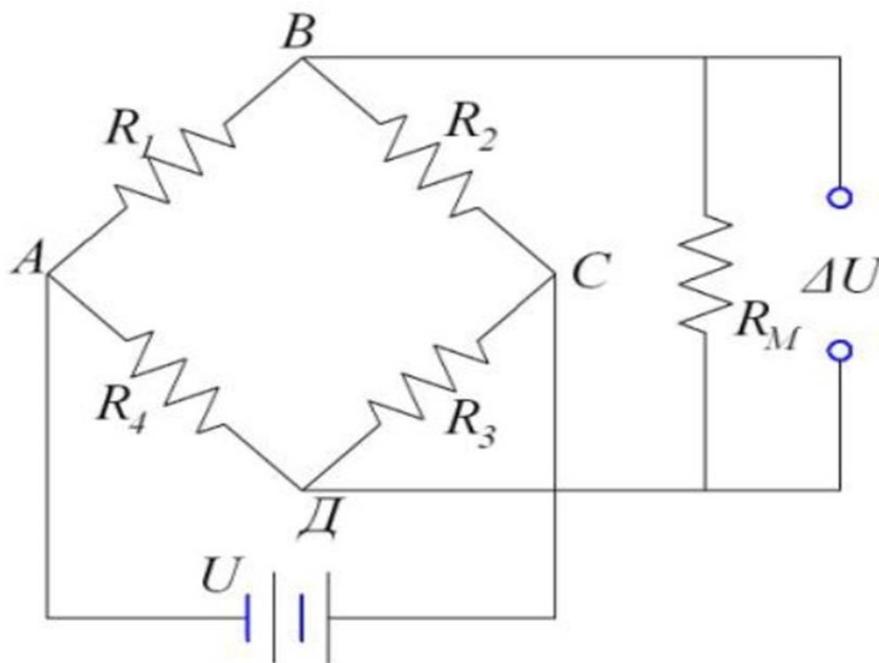


Рис. 1. Мост Уинстона

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ex}} \left[\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right] \quad (1)$$

Тензорезисторы обычно выносятся за пределы измерительного устройства и располагаются на исследуемом объекте, тогда как резисторы, дополняющие мост, как правило, расположены в измерительном устройстве. В плечи моста тензорезисторы можно включать последовательно, параллельно и смешанно [4].

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ

В приложении MATLAB-SIMULINK разработана модель тензометрической системы измерения, структура которой показана на Рис. 2.



Рис. 2. Структура математической модели тензометрической системы измерения

Данная модель состоит из следующих элементов на входе расположены два блока задания, первый блок задает постоянное значение, второй блок задает случайные значения, далее следует функциональный блок программы MATLAB в котором написана математическая модель тензометрической системы с помощью математической функции, мультиплексор и осциллограф.

На Рис. 3 показана математическая модель тензометрической системы, которая написана в функциональном блоке MATLAB. Данная модель создана при помощи программы-функции MATLAB. В ней описывается модель выходного напряжения тензометрической системы.

```
function Ucal = f(E) % где E=модуль упругости
тензодатчика
R=100; %Сопrotивления резисторов моста Уинстона
k=2; % Калибровочный коэффициент тензодатчика
Uin=10; %Напряжение источника питания тензодатчика
% dR/R=K*E
% dR/100=K*E
dR=k*100*E; % Отклонение сопротивления тензодатчика при
деформации
Rstr=R+dR; % Сопrotивление, появившееся в результате
деформации резистора тензодатчика
Uout=Uin*(Rstr/(Rstr+R)-R/(R+R)); %Выходное напряжение
тензометрической системы
Kqgain=0.2 %Коэффициент усиления в усилителе для
масштабирования схемы
Us=Uout*Kqgain; % Масштабированное выходное напряжение
тензометрической системы
end
```

Рис. 3. Математическая модель выходного напряжения тензометрической системы

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

На Рис. 4 показаны выходные характеристики постоянного значения силы. На осциллограмме изображены два установившихся процесса. Зеленым цветом выделен установившийся процесс с блока задания постоянного значения который измеряется в милливольтгах. Синим цветом выделен установившийся процесс выходного напряжения с тензометрической системы измерения. Время измерения установившихся процессов составляет 10 секунд.

Блок постоянного значения задает значение, равное 0,001, которое показывается на осциллографе выходной характеристикой по напряжению равной 1 мВ. Выходное напряжение с тензометрической системы

показывает нам значение 0,99 мВ. Это говорит нам о том, что программная модель измерила постоянное значение с точностью 99 %.

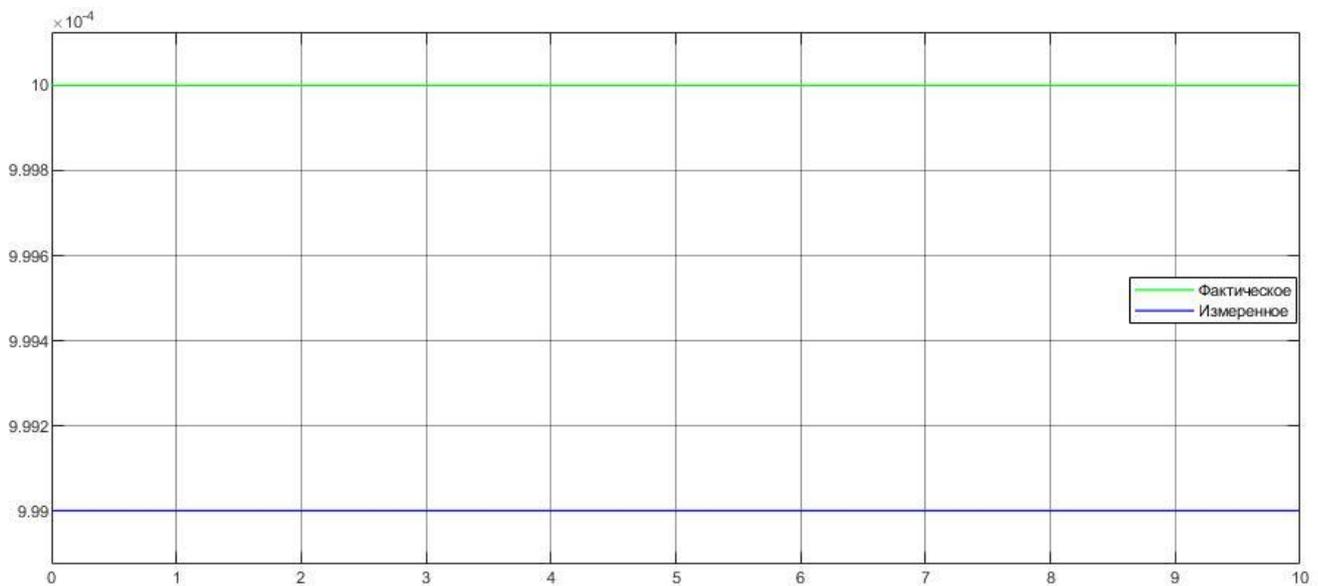


Рис. 4. Выходные характеристики постоянного значения

На Рис. 5 изображена имитация статического измерения с помощью функционального блока равномерных случайных чисел из библиотеки MATLAB SIMULINK. На данной осциллограмме фиолетовым цветом показан установившийся процесс с блока равномерных случайных чисел который измеряется в милливольтях. Синим цветом выделена переходная характеристика выходного напряжения с тензометрической системы измерения. Диапазон случайных значений задается с 0 до 10 мВ. Время измерения установившихся процессов составляет 10 секунд.

Для того чтобы оценить точность измерения, сделан Рис. 6 на нем изображена имитация статического измерения с помощью блока равномерных случайных значений в приближенном виде. На осциллограмме в приближенном виде видно, что значения двух установившихся процессов различаются на 0,089 мВ, это означает, что погрешность измерения составляет около 1 %.

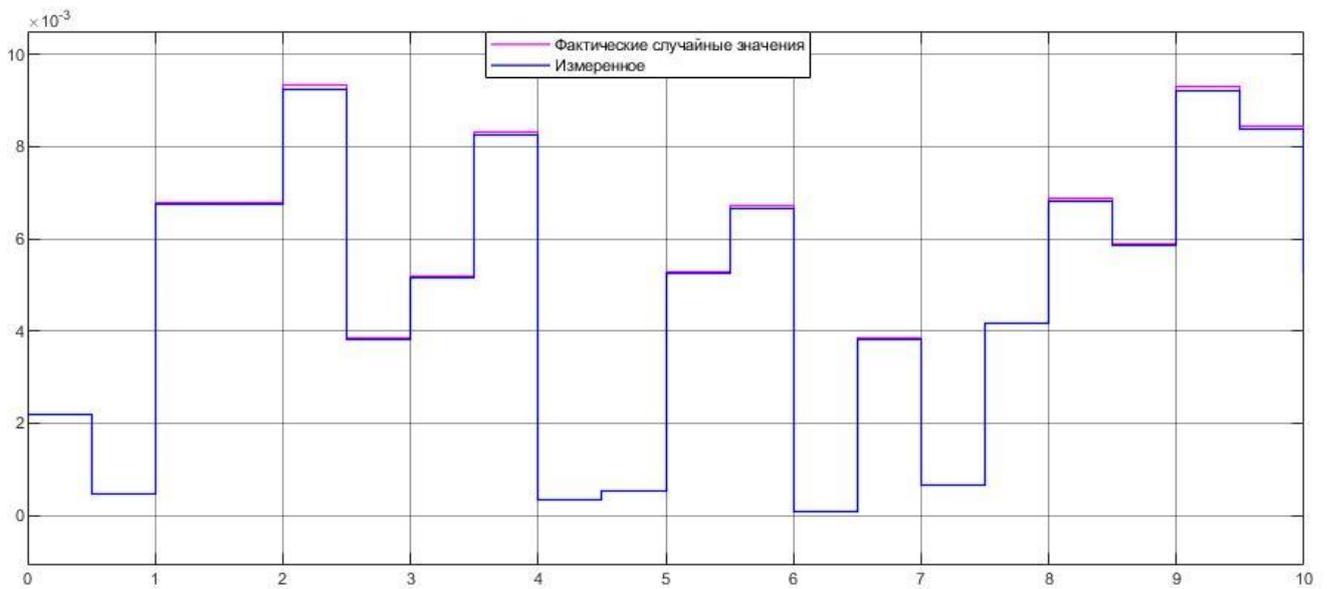


Рис. 5. Имитация статического измерения с помощью блока равномерных случайных значений

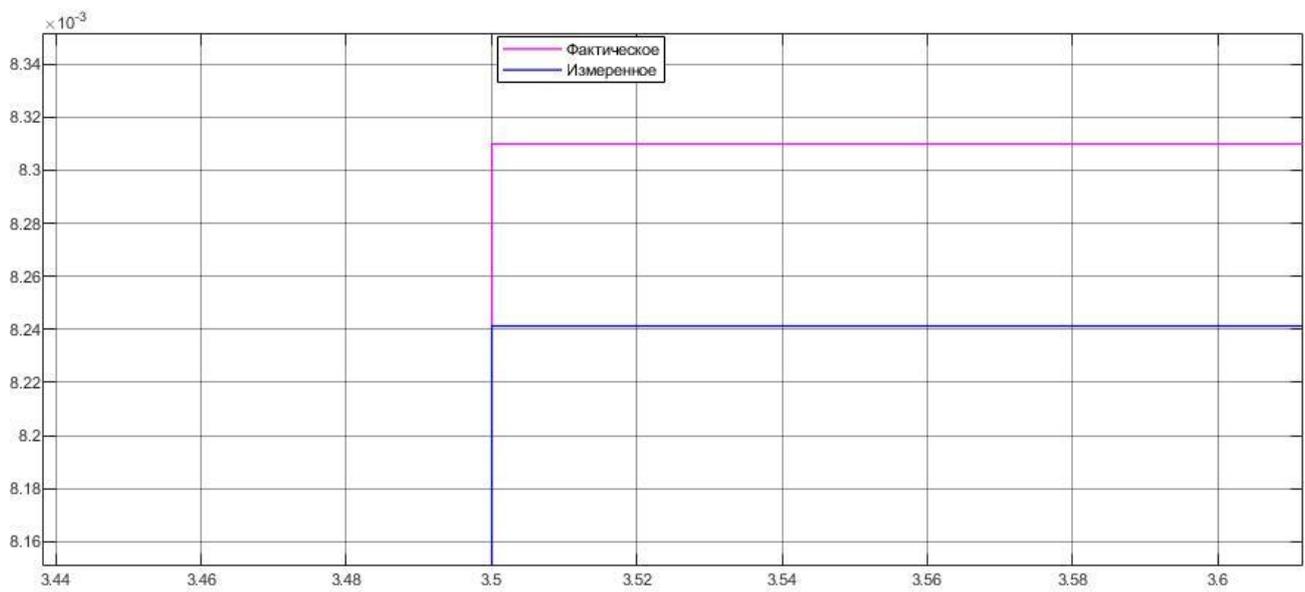


Рис. 6. Имитация статического измерения с помощью блока равномерных случайных значений в приближенном виде

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассматривается математическое моделирование тензометрической системы измерения. В качестве примера создана модель тензометрической системы измерения с помощью библиотеки программы MATLAB SIMULINK.

Получены осциллограммы выходные характеристики фактического и измеренного значения при разных входных значениях [5]. При проверке характеристик фактического и измеренного значений сходимость экспериментальных данных, полученных с помощью математического моделирования в программе MATLAB SIMULINK составила 99 %.

Полученная модель тензометрической системы измерения полностью соответствует теоретическим предположениям и приведенным в статье экспериментальным результатам [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Олещук В.А., Верещагина А.С. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2015. – 92 с. [Oleshuk VA, Vereshagina AS. Methods and means of measurement, testing and control: schoolbook. Komsomolsk-on-Amure: KnAGTU; 2015. 92 p. (In Russ.)].
2. Борисов А.М., Нестеров А.С. Средства автоматизации и управления: учеб. пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 207 с. [Borisov AM, Nesterov AS. *Sredstva avtomatizacii i upravleniya: schoolbook*. Chelyabinsk: RSTU, 2007. 207 p. (In Russ.)].
3. Wallin C, Ling H, Rasool A. Evaluation of torque pulses in industrial applications using the torquesensor torductor (R)-S //SIcon/01. Sensors for Industry Conference. Proceedings of the First ISA/IEEE. Sensors for Industry Conference (Cat. No. 01EX459). IEEE, 2001. pp. 95-100. doi 10.1109/SFICON.2001.968506
4. Жадобин Н.Е., Алексеев Н.А., Крылов А.П. Электронные и микропроцессорные системы управления судовых энергетических и электроэнергетических установок: учеб. пособие. – М.: Проспект, 2010. – 528 с. [Zhadobin NE, Alekseev NA, Krylov AP. *Elektronnyye i mikroprocessornyye sistemy upravleniya sudovyh energeticheskikh i elektroenergeticheskikh ustanovok: schoolbook*. Moscow: Prospect; 2010. 528 p. (In Russ.)].
5. Соломин А.В. Линейные асинхронные тяговые двигатели для высокоскоростных поездов и их математическое моделирование (монография). Ростов-на-Дону: РГУПС, 2008. – 204 с. [Solomin AV. *Lineynyye asinkhronnyye tyagovyye dvigateli dlya vysokoskorostnykh poyezdov i ikh matematicheskoye modelirovaniye* (monograph). Rostov-na-Donu: RSTU; 2008. 204 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004131632>. Ссылка активна на: 04.02.2019.
6. Жадобин Н.Е., Малышев В.А., Крылов А.П. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: учеб. пособие. – М.: Элмор, 1998. – 440 с. [Zhadobin NE, Malushev VA, Krylov AP. *Elementu i functionalinyye ustroystva sudovyh avtomatiki: schoolbook*. Moscow: Elmor; 1998. 440 p. (In Russ.)].

Сведения об авторе:

Раянов Тимур Александрович; аспирант;
eLibrary SPIN: 9507-8454; ORCID: 0000-0002-6423-0978;
E-mail: rayanov.timur@yandex.ru

Information about the author:

Raianov Timur Alexndrovich; postgraduate student;
eLibrary SPIN: 9507-8454; ORCID: 0000-0002-6423-0978;
E-mail: rayanov.timur@yandex.ru

Цитировать:

Раянов Т.А. Математическое моделирование тензометрической системы измерения в программе MATLAB SIMULINK // Транспортные системы и технологии. — 2020. — Т. 6. — № 2. — С. 85–93. doi: 10.17816/transsyst20206285-93

To cite this article:

Raianov TA. Mathematical modeling of a strain gauge measurement system in MATLAB SIMULINK program. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(2):85-93. doi: 10.17816/transsyst20206285-93