

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 2017. – С. 1–118.

РАЗРАБОТКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МНОГОЗВЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*П.Г. Михайлов, д.т.н., профессор - научный руководитель,
М. Златогорский – магистрант, Ю. Клейменов – магистрант, А. Верева –
магистрант, А. Усачев – магистрант.*

Пензенский филиал МГУТУ им. К. Г. Разумовского, г. Пенза

Тел. 89273788810

E-mail: pit_mix@mail.ru

При разработке метрологических моделей датчиков физических величин (ДФВ), используемых в системах автоматизации машиностроения, следует учитывать не только вклад отдельных узлов и блоков в общую погрешность преобразования, но и иметь возможность управления метрологическими характеристиками для повышения информативности всего измерительного канала [1, 2]. Как правило, хотя основную долю в общей погрешности преобразования ДФВ вносит ЧЭ и измерительный модуль, некоторые узлы датчика также вносят в общую погрешность свою долю. Это особенно заметно при экстремальных условиях работы датчиков [3]. Кроме того, и сами измерительные модули могут иметь сложную конструктивную структуру, включающую несколько преобразователей или функциональных узлов включенных последовательно (рис. 1). При этом и ЧЭ могут содержать несколько сенсорных элементов и структур, объединенных конструктивно и функционально [4]. В любом из перечисленных случаев, дополнительные узлы и преобразователи, участвующие в процессе приема, преобразования и выдачи измерительной информации, вносят свою, индивидуальную погрешность в общую погрешность преобразования измерительного канала [1].

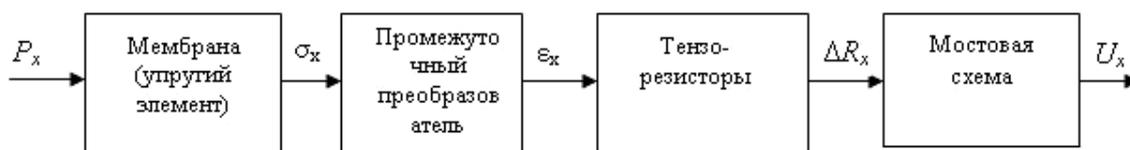


Рис. 1. Структурно-функциональная модель тензорезисторного датчика давления

Анализ как отдельных, так и общих погрешностей многозвенных измерительных структур удобно и наглядно проводить, используя совмещенную модель, на которой приведены структурные блоки и их функции преобразования (рис. 2) [5]. В результате учета и суммирования погрешностей отдельных звеньев измерительной цепи получают метрологическую модель всего измерительного преобразователя.

Таким образом, метрологическая модель (МТМ) датчика, являющейся разновидностью математических моделей (ММ), строится с использованием аппарата метрологического анализа и основывается на структурной и функциональной моделях датчика. МТМ позволяет установить связи между погрешностями датчика в целом и погрешностями его отдельных компонентов [6].

Построение МТМ цепи из линейных звеньев начинается с рассмотрения структурной схемы датчика (структурной функциональной модели). В частности, на рис. 2 приведены два последовательно включенных звеньев, имеющих номинальные функции преобразования $y_1 = S_1 x_1$ и $y_2 = S_2 x_2$.

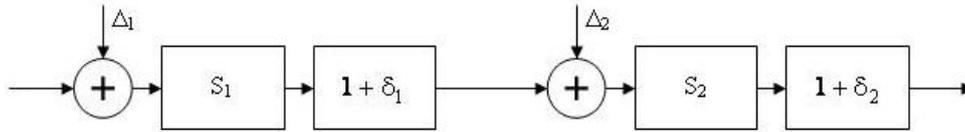


Рис. 2. Метрологическая модель двухзвенной измерительной цепи

Принимая выходную величину первого звена равной выходной величине второго звена, т.е. $y_1 = x_2$, получим:

$$y_2 = S_2(x_2) = S_2(y_1) = S_2(S_1 x_1) = S_1 S_2 x_1. \quad (1)$$

Опуская индексы у входных и выходных величин, получаем общую номинальную функцию преобразования:

$$y = S_1 S_2 x. \quad (2)$$

Реальные функции преобразования звеньев можно представить в виде:

$$y_1 = S_1(1 + \delta_1)(x_1 + \Delta_1), \quad y_2 = S_2(1 + \delta_2)(x_2 + \Delta_2). \quad (3)$$

Согласно принципу суперпозиции, реальная выходная величина y_p будет состоять из трех слагаемых, по числу входов на модели x , Δ_1 , Δ_2 :

$$y_p = x S_1(1 + \delta_1)(x_1 + \Delta_1) S_2(1 + \delta_2) + \Delta_1 S_1(1 + \delta_1)(x_1 + \Delta_1) S_2(1 + \delta_2) + \Delta_2 S_2(1 + \delta_2) = \quad (4)$$

$$= x S_1 S_2(1 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_1 \delta_2) + \Delta_1 S_1 S_2(1 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_1 \delta_2) + \Delta_2 S_2(1 + \delta_2)$$

Пренебрегая произведениями погрешностей ввиду их малости, получаем:

$$y_p = x S_1 S_2(1 + \delta_1 + \delta_2) + \Delta_1 S_1 S_2 + \Delta_2 S_2. \quad (5)$$

Исходя из того, что номинальная функция преобразования $y = S_1 S_2 x$, получаем следующие модели различных видов погрешностей:

- абсолютная погрешность функции преобразования

$$y_p - y = x S_1 S_2(\delta_1 + \delta_2) + \Delta_1 S_1 S_2 + \Delta_2 S_2. \quad (6)$$

- аддитивная погрешность, приведенная к входу

$$\frac{y_p - y}{S_1 S_2} = x(\delta_1 + \delta_2) + \Delta_1 + \frac{\Delta_2}{S_1}. \quad (7)$$

- аддитивная погрешность, приведенная к выходу

$$\Delta_Y = \Delta_1 S_1 S_2 + \Delta_2 S_2. \quad (8)$$

- мультипликативная погрешность

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (9)$$

От простейшей двухзвенной измерительной цепи перейдем на многозвенную, состоящую из последовательно соединенных нескольких линейных звеньев (рис. 3). Найдем в общем виде модель погрешности для таких измерительных цепей.

Номинальная функция преобразования n последовательно соединенных звеньев имеет вид:

$$y = x \prod_{i=1}^n S_i, \quad (10)$$

где y и x - выходная и входная величины; n - число звеньев; S_i - чувствительность звеньев.

Метрологическая модель такой цепи - это совокупность формул для вычисления мультипликативной и аддитивной погрешностей соединения

$$\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i; \Delta_y = \sum_{i=1}^n \left(\Delta_i \prod_{j=i}^n S_j \right) \text{ или } \Delta_x = \Delta_1 + \sum_{i=2}^n \left(\Delta_i \prod_{j=1}^{i-1} \frac{1}{S_j} \right), \quad (11)$$

где δ - максимальная мультипликативная погрешность измерительной цепи; δ_i - мультипликативные относительные погрешности звеньев (погрешности чувствительностей S_i); Δ_y и Δ_x - аддитивные предельные абсолютные погрешности соединения, приведенные к выходу и к входу соответственно; Δ_i - аддитивные предельные абсолютные погрешности звеньев, приведенные к их входам.

Если число слагаемых в сумме больше двух, то удобно использовать формулы математической статистики: вычисление среднеквадратических и среднегеометрических величин, так как они дают реальные величины погрешностей:

- среднеквадратическая форма

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots} \quad (12)$$

- среднегеометрическая форма

$$\delta = \sqrt{\sum (\delta_i)^2} \text{ или } \Delta = \sqrt{\sum (\Delta_i)^2}. \quad (13)$$

Метрологическая модель многозвенной измерительной цепи (рис. 3) строится по аналогии с моделью соединения двух звеньев (рис. 2) [11, 12].

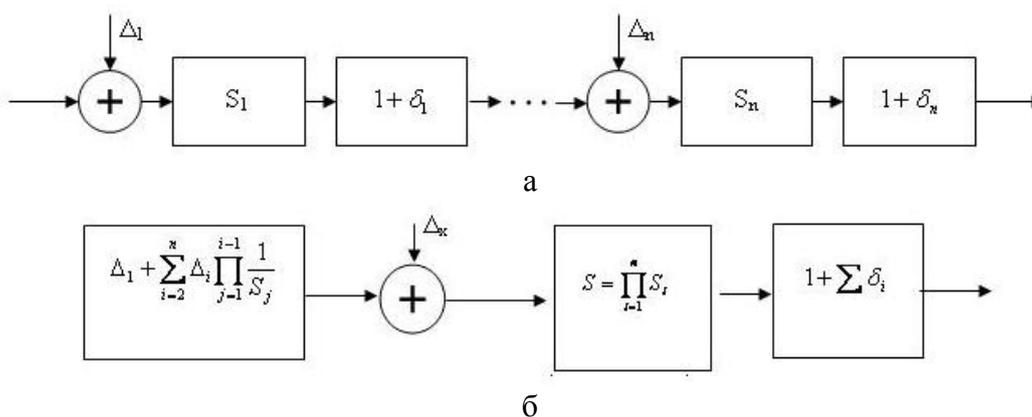


Рис. 3. Два варианта представления метрологической модели многозвенной измерительной цепи: а-развернутый ; б-сжатый

Выводы: синтез и последующий анализ метрологических моделей многозвенных измерительных цепей датчиков физических величин позволяет определить критические узлы датчиков в части вносимой погрешности преобразования и оптимизировать общую погрешность путем введения дополнительных обратных связей и корректирующих звеньев.

Список литературы:

1. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А Зограф. Л. : Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
2. Михайлов П.Г. Синтез информационно-энергетических моделей датчиков / П.Г. Михайлов // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2003. № 3. С. 37-40.
3. Богущ, М.В. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации / М.В. Богущ. Ростов-на-Дону.: Изд-во РГУ, 2005. 294 с
4. Михайлов, П.Г. Микроэлектронный датчик давления и температуры / П.Г. Михайлов // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2003. № 11. С. 29-31.
5. Мурашкина, Т.И. Амплитудные волоконно-оптические датчики автономных систем управления: Монография / Т.И. Мурашкина, В.И. Волчихин Пенза: Изд-во Пенз. гос. Ун-та, 1999. 188 с.
6. Михайлов, П.Г. Модели обратных преобразователей микроэлектронных датчиков / П.Г. Михайлов, А.В. Соколов, В.И. Лапшин // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС: Межвуз. сб. науч. тр. под ред. проф. Н. К. Юркова. / Пенза: Изд-во ПГУ. 2012. Вып. 17. С. 262 - 268.
7. Михайлов, П.Г., Рахимжанова П.Т. Разработка математических моделей измерительных преобразователей Труды VII Международной научно-практической интернет конференции «Актуальные научные исследования в современном мире» 25.11.2015 Переяслав-Хмельницкий Украина вып. 7, ч.2. С. 100-105
8. Михайлов, П.Г. Кабдолдина А., Баясилова З. А. Анализ и синтез структурных моделей многозвенных измерительных преобразователей // Труды III Межвузовской НПК «Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы МСНПК-2016. (РИНЦ) Из-во ПГУ, 2016 - С. 136-139
9. Михайлов, П.Г. Ожикенов К.А. Особенности измерения и контроля геометрических параметров элементов и узлов датчиков физических величин Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль 2015, № 1(11), С. 36-43
10. Михайлов П.Г., Ожикенов К.А., Касимов А.О., Аналиева А.У. Узлы и компоненты микроэлектронных датчиков // Известия Южного федерального университета. Технические науки. № 3(164) 2015 С. 184-193.
11. P.G. Mikhajlov, Yu.N.. Slesarev, V.A. Chulkov Mathematical Modeling of Combined Sensor Information - Measuring Systems International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 20 (2016) pp. 10332-10337 © Research India Publications. <http://www.ripublication.com>.
12. Ozhikenov K.A., Mikhailov P.G., Ismagulova R.S. Development of Technologies, Methods and Devices of the Functional Diagnostics of Microelectronic Sensors Parts and Components. // 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (A PEIE).2016. Vol.1. - pp. 84-90.