

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУР СОВМЕЩЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Михайлов П.Г.¹, Баясилова З.А.²

¹*Михайлов Петр Григорьевич - доктор технических наук, профессор,
Пензенский государственный технологический университет
Пенза, Российская Федерация*

²*Баясилова Зухра Ануаровна - кандидат наук, старший преподаватель,
Карагандинский индустриальный университет
Караганда, Казахстан*

Аннотация: В статье исследуются структура, схемы и конструкции совмещенных датчиков давления и температуры. Рассмотрены и проанализированы метрологические характеристики датчиков. Особое внимание в статье уделено моделированию отдельных узлов датчика, разработаны аналитические модели.

Ключевые слова: Датчик, метрология, характеристики, надежность, давление, температура.

MODELING OF ELEMENTS AND STRUCTURES OF COMBINED PRESSURE AND TEMPERATURE SENSORS

Mikhailov P.G.¹, Bayasilova Z.A.²

¹*Mikhailov Petr Grigorievich – doctor of Technical Sciences, professor, Penza State
Technological University
Penza, Russian Federation*

²*Bayasilova Zukhra Anuarovna – PhD, Senior Lecturer, Karaganda Industrial
University
Karaganda, Kazakhstan*

Abstract: The article examines the structure, circuits and designs of combined pressure and temperature sensors. The metrological characteristics of the sensors are considered and analyzed. Particular attention is paid to the modeling of individual sensor nodes, analytical models are developed.

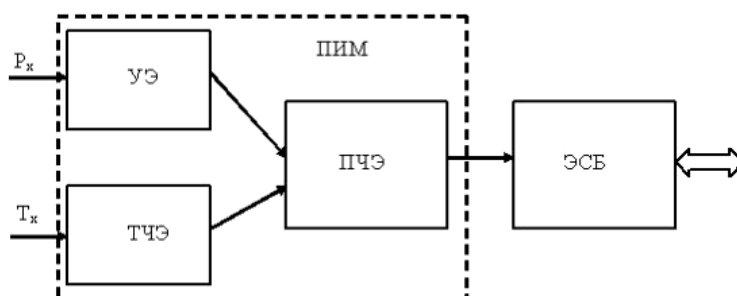
Keywords: Sensor, metrology, characteristics, reliability, pressure, temperature



Микроэлектронные совмещенные датчики давления и температуры являются сложными по структуре информационными устройствами, основным элементом в которых – чувствительный элемент (рис. 1).

Исходя из структурной схемы микроэлектронного датчика (МЭД) давления и температуры (рис. 1), можно выделить следующие его блоки, от которых в первую очередь зависят основные технические характеристики (ТХ): воспринимающий (упругий) элемент, термочувствительный элемент (ТЧЭ), измерительный модуль (ИМ), электронный согласующий блок. К основным ТХ относятся: механическая прочность, надежность, быстродействие, диапазон измерения, временная стабильность, геометрические размеры.

Как видно из рис. 1, на первом месте в датчике стоит упругий элемент (УЭ), который в основном определяет многие прочностные и метрологические характеристики всего датчика [1, 2]. Таким образом, УЭ должен в процессе работы отслеживать воспринимаемые им динамические давления и корректно преобразовывать их в механическую деформацию при минимальных искажениях и остаточных явлениях [3, 4].



УЭ – упругий элемент, ТЧЭ – термочувствительный элемент, ПЧЭ – полупроводниковый чувствительный элемент, ПИМ – полупроводниковый измерительный модуль, ЭСБ - электронный согласующий блок

Рисунок 1. Структурная модель датчика давления и температуры

Необходимость на практике восприятия и преобразования быстропеременных и импульсных сигналов, имеющих, как правило, сложную



форму во времени, заставляет производить оценку динамических свойств УЭ и определять погрешность, вносимую УЭ.

Высокие динамические характеристики УЭ необходимы для того, чтобы обеспечивать минимальные погрешности при измерениях нестационарных процессов и величин, в качестве которых могут выступать различные типы давлений.

При создании новых образцов и модернизации существующей измерительной аппаратуры, в частности МЭД, широко используется моделирование конструкций, схем и отдельных элементов, что позволяет уже на ранних стадиях спрогнозировать основные технические характеристики датчиков, а также в значительной мере сократить время их разработки.

Моделирование упругих элементов датчиков

Следует отметить, что для моделирования УЭ на рынке представлено множество пакетов специализированных программ, которые являются многофункциональными, и их принцип работы чаще всего основан на методе конечных элементов или электрических аналогов.

Пакеты компонентного моделирования подразделяются на универсальные (ANSYS, MatLab, Simulink, SolidWorks) [7-10] и предметно-ориентированные (Electronics Workbench, Micro-Cap) [11] программные пакеты. Для компьютерного моделирования неоднородных технических систем часто используется пакеты ANSYS. В нем применяется метод конечных элементов для решения таких задач, как расчет формы тел при деформации, расчет прочности конструкций, подвергающихся статическим и динамическим нагрузкам, моделирование течения жидкости и газа, распространения тепла, моделирование электротехнических систем, расчет электрического и магнитного полей и другие. Эта универсальная программа по компьютерному инжинирингу позволяет анализировать устойчивость систем, изучать переходные процессы, решать оптимизационные задачи.

К предметно-ориентированным программным средствам автоматизации моделирования, предназначенным для моделирования систем, принадлежащих



определенному физическому классу, относятся MultiSim, Simulink, AutoCAD, SolidWork, LabVIEW и другие [12, 13]. Они не позволяют создавать и исследовать компьютерные модели других физических классов, а также физически неоднородных объектов и систем.

Пакеты AutoCAD, Компас 3D, SolidWorks, созданы для трехмерного моделирования и автоматизированного 3D-проектирования. Он используется в машиностроении, газодинамике, приборостроении, двигателестроении, конструировании технологической оснастки и т. д.

Для исследования электронных схем применяются прикладные пакеты OrCAD, MultiSim, Workbench, Comsol и др.

Анализ функциональных возможностей и доступности указанных программ показал следующее:

1) Большинство оригинальных программ моделирования стоят очень дорого, а выпускаемые в некоторых случаях упрощенные их демоверсии не обладают основными функциями, поэтому зачастую бесполезны.

2) Программы, за некоторым исключением имеют большой объем, поэтому для их корректной работы необходимы ПК с большой оперативной и постоянной памятью, а также с высоким быстродействием.

3) Программы имеют сложный, интуитивно не всегда понятный интерфейс и для работы с ними необходимо значительное время и хорошие навыки, а также знание английского языка, так как в большинстве интерфейс и помощь – англоязычные.

4) У всех программ излишне большое число не востребованных функций.

В связи с вышеперечисленными недостатками требуется разработка информационной системы, предназначенной для моделирования важнейших динамических характеристик УЭ, которая использует общедоступное программное обеспечение (ПО): Mathcad, Exel, Visio и др. Интерфейс указанных программ интуитивно понятен, они не занимают много места на диске и легко устанавливаются на ПК.



Поясим, применительно к УЭ основные метрологические формулировки и понятия [14-16].

Важной характеристикой УЭ является функция преобразования (ФП) - зависимость выходного сигнала от входного сигнала.

Динамические характеристики УЭ - это характеристики свойств УЭ, проявляющиеся в том, что на выходной сигнал УЭ влияет значение входного сигнала, а также различные изменения этих значений во времени.

К динамическим характеристикам относятся:

Переходная характеристика УЭ - это временная характеристика его, полученная при ступенчатом изменении входного сигнала.

Импульсная переходная характеристика УЭ - временная характеристика его, получаемая в результате приложения к входу УЭ входного воздействия в виде дельта-функции (функции Дирака).

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) УЭ - зависящее от круговой частоты отношение выходного сигнала в установившемся режиме к амплитуде входного синусоидального сигнала.

Частные динамические характеристики:

- время реакции;
- коэффициент демпфирования (степень успокоения);
- постоянная времени;
- значение АЧХ на резонансной частоте;
- значение резонансной или собственной частоты.

Поясим некоторые из указанных ТХ:

- 1) время реакции - время установления выходного сигнала.
- 2) коэффициент демпфирования - коэффициент β в дифференциальном уравнении, описывающем датчик:

$$x + 2\beta\omega_0^2 \cdot x = 0 \quad (1)$$

где ω_0 - собственная частота колебаний УЭ:



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{w}{m}} \quad (2)$$

где w - жесткость УЭ, m - эквивалентная подвижная масса ИП.

3) резонансная частота - частота, соответствующая максимуму резонансной кривой.

Как было ранее отмечено, большинство статических и динамических характеристик УЭ определяет передаточная характеристика УЭ, представленная на рисунке 2 в виде графической модели.

На рисунке 2 использованы следующие обозначения: 1 – функция преобразования (ФП) без учета влияющих величин; 1', 1'' – прямые, ограничивающие область возможных измерений ФП из-за действия влияющих величин; 2 – ФП с учетом нелинейности; 3', 3'' – ФП с учетом гистерезиса; 4 – ФП с учетом повышения температуры; 5 – ФП с учетом воздействия линейного ускорения; 6 – ФП с учетом воздействия

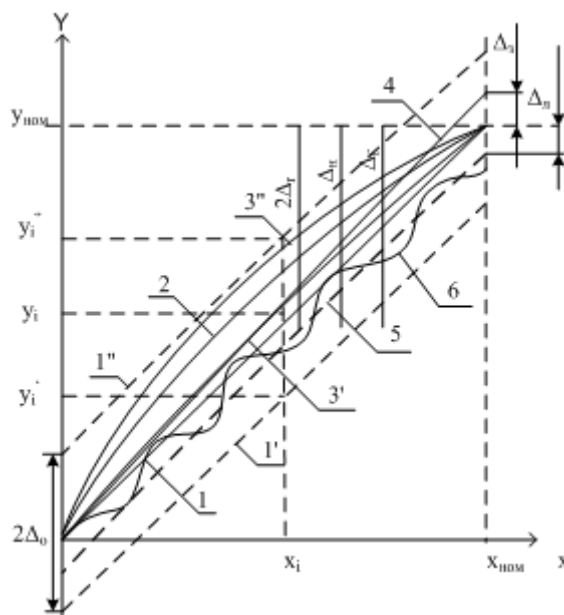


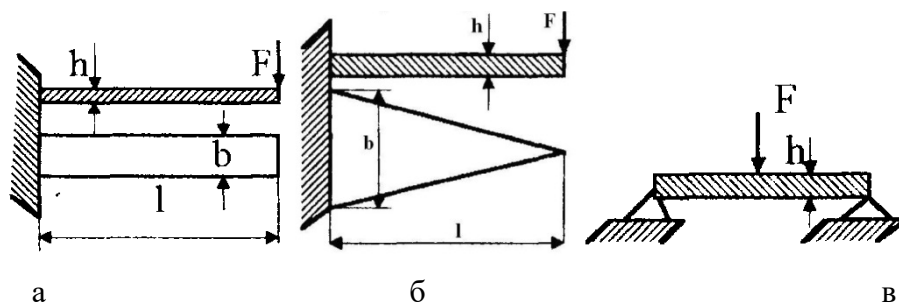
Рисунок 2. График функции преобразования УЭ

Исследование и анализ конструкций УЭ датчиков

В УЭ датчиков силовых параметров (силы, давления, деформации, крутящих моментов) используются различные типы УЭ (рисунки 3 – 5) измерительных преобразователей (ИП) [17].



балочные в виде консольных балок, балок равного сопротивления изгибу, опёртой балки (рисунки 3, а - в);
 кольцевых (рисунок 4, а);
 мембран (рисунок 4, б);
 полых и сплошных стержней (рисунок 4, в);
 однослойных и многослойных пьезопластин (рисунки 5, а, б).



F – сила, h – толщина, b – ширина, l – длина

Рисунок 3. Балочные УЭ ИП

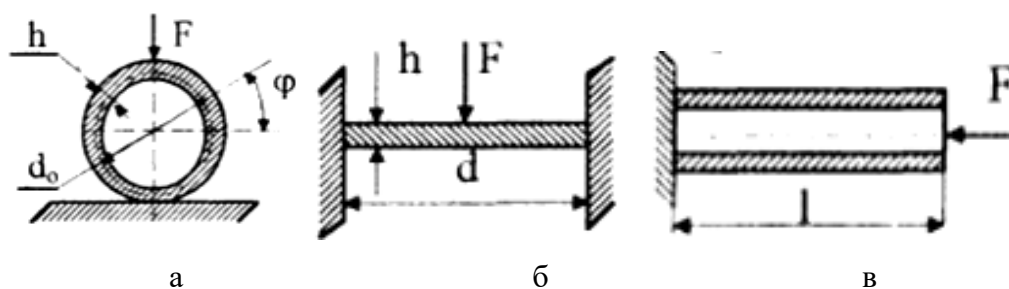
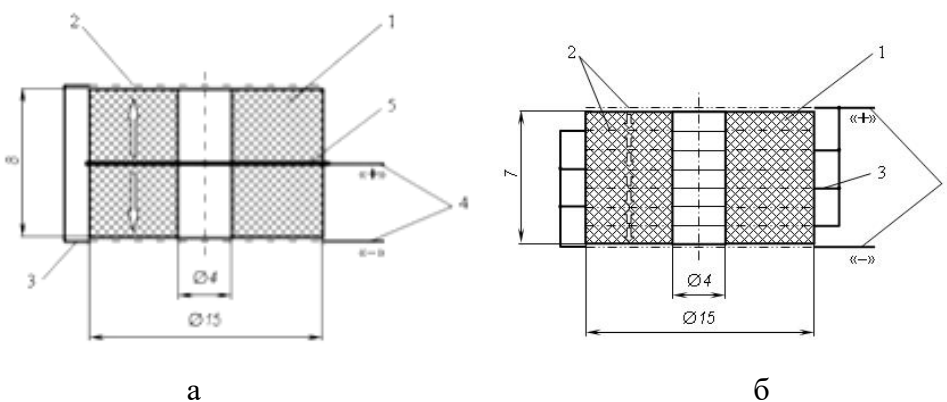


Рисунок 4. Конструктивные модели УЭ различного типа



1 - слой пьезокерамики, 2 - электрод, 3 - проводник коммутационный, 4 – вывод проволочный, 5 - токосъемная пластина

Рисунок 5. Многослойные пьезоэлектрические ЧЭ



Заключение

Рассмотрены детали и узлы различных датчиков давления (тензорезистивных и пьезоэлектрических), проанализированы их АЧХ и конструктивное исполнение. Сделаны выводы, что типы используемых датчиков зависят, в первую очередь, от температурного диапазона и контролируемого изделия.

Список литературы

1. ГОСТ 8.256-77. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. Основные положения. – Введ. 1978-07-01. - М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1977. – 10 с.
2. Мокров Е.А. и др. Оценка и обеспечение динамических свойств датчиков механических величин. Учебн. Пособие. - М.: МГТУ, 2001. - 48 с.
3. Тихонов А.И., Тихоненков В.А., Мокров Е.А. Упругие элементы датчиков механических величин. Учебное пособие. – Ульяновск: Изд-во УЛГТУ, 1998. - 120 с.
4. Конюхов А.В. Основы анализа конструкций в ANSYS. Учебное пособие. - Казань: Изд-во КазГУ, 2001. - 102 с.
5. Гулятьев А. К. Визуальное моделирование в среде MATLAB. Учебный курс. - СПб.: ПИТЕР, 2000. - 430 с
6. Алямовский А.А. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.
7. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. - СПб: Питер, 2002. 528 с.
8. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007. - 464 с.
9. Пачкорья О.Н. Начертательная геометрия и инженерная графика. Пособие по выполнению лабораторных и практических работ в системах Компас–График и Компас 3D. В 2х частях. – М.: МГТУ ГА, 2001. - 184 с.
10. Тревис Д. LabVIEW для всех. - М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2004. – 544 с.
11. Кошелев В. Excel 2007. Эффективное использование. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008 - 544 с.
12. Алексеев Е.Р. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9. - М.: ИТ Пресс, 2006. – 496 с
13. Грановский В.А. Динамические измерения. Основы метрологического обеспечения. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1984. – 224 с.



14. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 1985. – 474 с.
15. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Введ. 1986-01-01. - М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1984. – 26 с.
16. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. - М.: Высш. шк., 1972. - 451 с.
17. Баясилова З.А., Бактыбаев М.К., Михайлов П.Г., Шайханова А.К. Моделирование мембранного датчика давления // Вестник Государственного Университета имени Шакарима города Семей. – Семей, 2016. – Т. 1, № 4 (76). – С. 68-71.

