

ИНЖИНИРИНГ

УДК 621.317.39.084.2

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТАБИЛЬНОСТИ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУР МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

П.Г. Михайлов¹, А.П. Михайлов², Е.Д. Фадеев³, И. Пасхин¹, А.Р. Ахметов⁴

¹Пензенский государственный университет, pit_mix@mail.ru,

²ООО Газпром-нефть цифровые решения, Санкт-Петербург, krendeleshik@gmail.com,

³mercenfry@gmail.com, Москва,

⁴ООО НПЦ «КИТ», Пенза, icmus@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме инженерии-обеспечению временной и параметрической стабильности измерительных преобразователей. Задачи обеспечения стабильности важны для различных отраслей хозяйственной деятельности, включая медицину, машиностроение, авиацию и космос.

Ключевые слова: стабильность, измерительный преобразователь, инженерия, дрейф, характеристика.

Проблема обеспечения стабильности измерительных преобразователей (ИП) является нетривиальной задачей и требует решения целого комплекса проблем из различных отраслей науки и техники: инженерии, конструировании, материаловедении и проч. [1].

Как показала практика, отдельные меры, направленные на улучшение отдельных характеристик ИП, не приводят, в целом, к улучшению временной и параметрической стабильности, при этом чаще всего ухудшают другие характеристики (вес, ремонтпригодность, надежность и проч.). Поэтому при решении проблем обеспечения стабильности ИП, необходимо использовать комплексный подход, включающий рассмотрение всего ИП как системы, разные уровни которой, начиная с низового (атом, домен, кристалл, зерно) и, заканчивая верхним, охвачены обратными связями - постоянными и временными (рис. 1). [2].

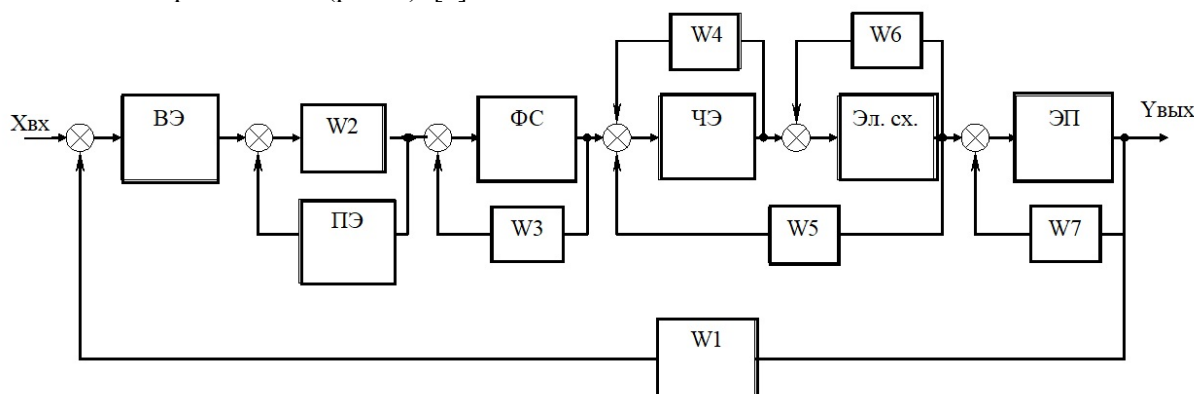


Рисунок 1. – ИП как система с многоуровневыми обратными связями:

ВЭ - воспринимающий элемент. ПЭ - передающий элемент. ФС - физическая среда.

ЧЭ - чувствительный элемент. Эл.сх.- электрическая схема. ЭП - электронный преобразователь

Это предложение подтверждается также принятой концепцией качества, изложенной в ИСО 9000 согласно которой необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению и поддержанию качества в процессе всего жизненного цикла изделия, начиная от технического задания на разработку и заканчивая его утилизацией. Поэтому стратегия обеспечения временной и параметрической стабильности ИП может быть представлена в виде блок-схемы описывающей основные этапы жизненного цикла ИП, причем в ней, также, как и в ИП, присутствуют обратные связи, предназначенные для поддержания необходимого уровня стабильности системы (рис. 2) [3].

Проектирование

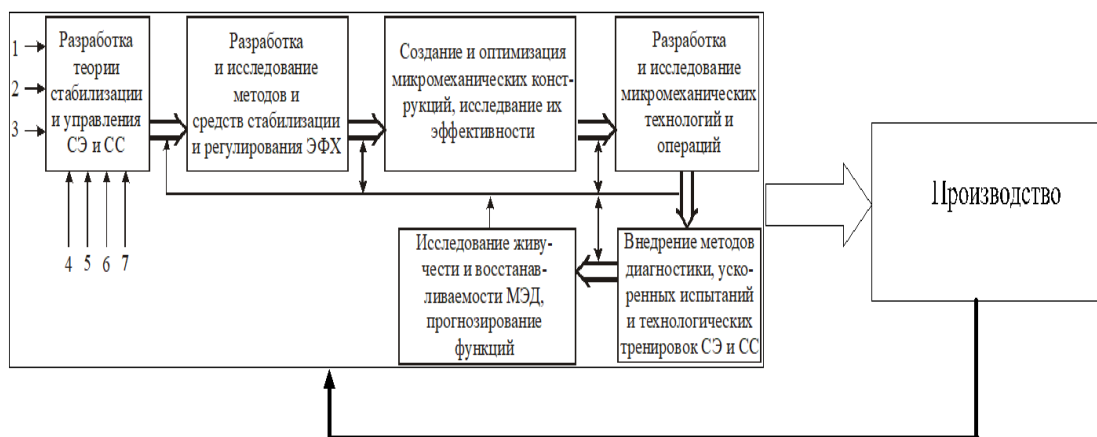


Рисунок 2. – Стратегия обеспечения стабильности сенсорных элементов и структур микроэлектронных датчиков (системный подход)

На рис. 2 приняты следующие обозначения;

1. Оценка влияния внешних воздействующих факторов (ВВФ) на устойчивость и стабильность чувствительных элементов (ЧЭ) ИП.
2. Стабилизация, авторегулирование ЧЭ.
3. Управляемость электрофизических характеристик (ЭФХ) ЧЭ.
4. Разработка математических моделей.
5. Прогнозирование дрейфа параметров ИП.
6. Выработка критериев стабильности.
7. Синтез обратных связей.

Как видно из данной блок – схемы, задачу обеспечения стабильности условно можно разбить на следующие взаимосвязанные блоки:

- I. Разработка вопросов теории стабилизации и управления ЧЭ;
- II. Разработка и исследование методов и средств стабилизации и регулирования ЭФХ;
- III. Создание и оптимизация микромеханических конструкций, исследование их эффективности;
- IV. Разработка и исследование микромеханических технологий и операций;
- V. Внедрение методов диагностики, ускоренных испытаний и технологических тренировок ЧЭ;
- VI. Исследование параметрической устойчивости, живучести, восстанавливаемости ИП.

В качестве основополагающих составляющих начального, теоретического блока были отнесены следующие ранее обозначенные на рис. 2 вопросы. При этом следует отметить, что каждый из выше перечисленных вопросов 1-7, является сам по себе проблемным, поэтому рассмотрим их в качестве их формулировки и путей решения.

1. Обзор дестабилизирующих факторов, действующих на элементы и структуры ИП

При разработке ИП, одной из важнейших задач является необходимость учета взаимодействия ИП с объектом измерения и окружающей средой. Система ИП – среда, вообще говоря, является динамической системой, в которой существуют многочисленные связи и процессы физического, химического и информационного характера: диффузия, деформации, дрейф носителей заряда, генерация дислокаций, движение дислокаций и структурных дефектов и т.п.

Из-за нестационарного характера и вероятностной природы указанных процессов, а также неявного характера их проявлений невозможно составить целостную картину взаимодействия исследуемой системы ИП – среда. Дело в том, что большинство ВВФ имеет крайне малое влияние на систему, поэтому ими можно пренебречь. С другой стороны, необходимо выделить те ВВФ, которые в наибольшей степени оказывают дестабилизирующее влияние, то есть, чувствительность системы, к которым достаточно велика. Желательно также, наряду с выявлением основных ВВФ, определить и механизм их влияния, чтобы иметь возможность управления с целью минимизации

или компенсации их влияния, но это, как показывает практика, не всегда достижимо.

Систему ИП – среда функционально можно условно изобразить в виде обобщенного графа, в котором отражено взаимодействие множества структурных элементов ИП с ВВФ среды (рис. 3) [4]. В данной схеме ЧЭ рассматривается как открытая система, в которой, вследствие флуктуаций ЭФХ структур ИП, наряду с преобразованием полезного сигнала, существует еще и паразитная модуляция помехообразующими сигналами, проникающими в ИП как из вне, так и возникающими внутри ИП.

На рис. 3. приняты следующие обозначения: 1- прямые помехи на входе, 2-управляющее воздействие, 3-помехи и флуктуации, в энергетических потоках, 4-изменение параметров, 5-основные внутренние флуктуации, 6-прямые помехи на выходе, 7 внутренняя граница 8-внешняя граница

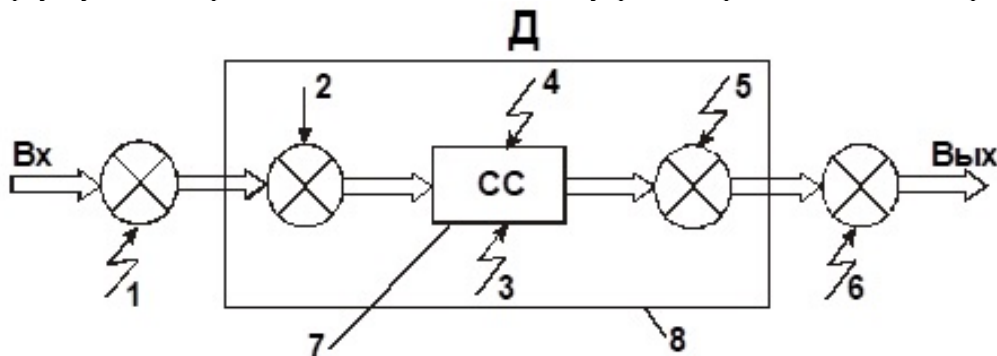


Рисунок 3. – Граф взаимодействия сигналов и помех в системе ИП – среда

Для формализации оценки взаимовлияния тех или иных величин друг на друга, используют коэффициенты чувствительности, коэффициенты весомости, отношение сигнал/шум и др. В измерительной технике для смыслового выделения полезной величины широко применяются формулировки: информативный и неинформативный сигнал. И, если пользоваться указанными формулировками, то ИП с формальной точки зрения можно представить в виде некоего фильтра, который выделяет полезный сигнал (информативный) на фоне помех (неинформативных сигналов). В этом плане показателен пример пьезокерамических фильтров и ИП на основе поверхностно-акустических волн (ПАВ), которые используют для выделения определенных резонансных частот за счет использования прямого и обратного пьезоэффектов [2]. Неинформативный сигнал – девиацию частоты от температуры устраняют путем термостатирования, выбора термостабильного среза, выполнением условий равенства, но противоположных по влиянию, температурных коэффициентов частоты и линейного расширения пьезоматериала и проч.

Наиболее перспективным направлением в ИП являются металлопленочные типы [5].

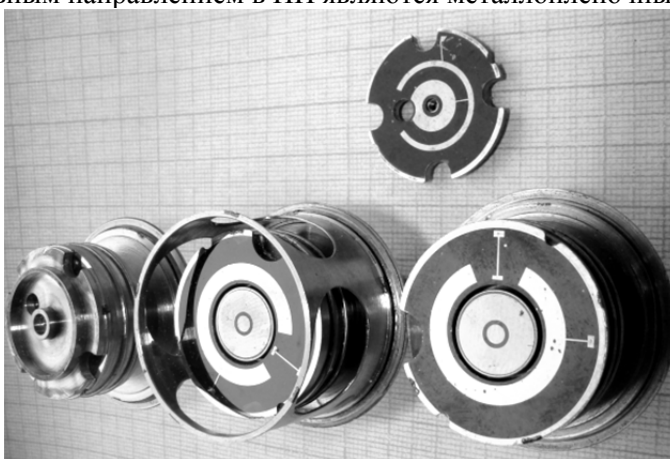


Рисунок 4. – Фотографии измерительных модулей и тонкопленочных чувствительных элементов емкостных высокотемпературных ИП давлений

При изготовлении и последующей эксплуатации ИП он подвергается воздействию различного рода ВВФ с разнообразной интенсивностью и динамикой. И если при изготовлении ИП техноло-

гические факторы строго регламентируются и контролируются, а их величина и динамика таковы, что в материалах и структурах ИП происходят в основном необратимые процессы, приводящие к формированию устойчивых структур и связей, то при эксплуатации ИП происходит совершенно иное.

Это связано с тем, что с одной стороны, ИП в целом является гораздо более сложной системой, чем ее отдельный элемент (пленка, тензорезистор, кристалл и проч.), а с другой, ИП - энергетически менее устойчивая система, поэтому для ее дестабилизации достаточно гораздо меньшие уровни ВВФ, чем те, которые присутствуют при изготовлении элементов датчика.

Из анализа отечественной и иностранной литературы и собственного опыта по разработке и эксплуатации микроэлектронных и металлопленочных ИП были определены и отмечены критические внешние воздействия – это влияние температуры как стационарной, так и динамической на ЭФХ ИП.

Влияние температуры на стабильность и устойчивость структур и элементов конструкций микроэлектронных ИП проявляется весьма разнопланово [6]:

- возникают тепловые механические деформации из-за разницы в температурных коэффициентах линейного материалов датчика;
- изменяются в той или иной степени практически все ЭФХ материалов (ширина запрещенной зоны, ток утечки "р-п" переходов, шумы и пр.);
- ускоряются деградационные процессы (электромиграция, межкуристаллитная диффузия и т.п.);

Следует отметить, что закономерности изменения температуры и порождаемые этими изменениями топологии тепловых, деформационных и диффузионных полей в ИП, как правило, трудно поддаются анализу без значительного их упрощения и использования накопленных экспериментальных данных [7].

Выводы. Таким образом, повышение временной и параметрической стабильности элементов и структур ИП сводится к конструктивной и технологической оптимизации путем применения различных методик: термостабилизации, электро-термотренировок, распределения топологии ЧЭ для линеаризации возникающих тепловых и деформационных полей и проч.

Список использованных источников

1. Васюков С. А., Красовский А. Б. Разработка методов и средств повышения чувствительности и стабильности характеристик микроволновых датчиков // Электронный научно-технический журнал «Наука и Образование» Эл № ФС77 Государственная регистрация №042 00025. 8211 12 ISSN 1994-0408 Н
2. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник: пер. с англ. М.: Техносфера, 2005.
3. Михайлов П.Г. Стабильность микроэлектронных датчиков и технологий (монография). – Пенза: ПГУ, 2003. – 231 с.
4. Михайлов П.Г., Михайлов А.П. Моделирование датчиков / Межвуз. Сб. тр. «Датчики систем измерения, контроля и управления» Пенза, ПГУ 2003. – С. 19-22.
5. Михайлов П.Г. Микроэлектронные датчики: вопросы разработки // Микросистемная техника. – 2003. № 1. – С. 4-5.
6. Обухов, В.И. Влияние технологических факторов на изменение упругих свойств кремния в производстве интегральных датчиков // Датчики и системы. 2001. – №2.
7. Сергеев В.В., Кузнецов О.А., Захаров Н.П. и др. Напряжения и деформации в элементах микросхем / М.: Радио и связь, 1988.