

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ НАКАТОМ ГИБКИХ ЛЕНТ

Устинов В.Ф., Степанов А.С.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Основная задача микроэлектромеханики – создание не имеющих аналогов микромеханических конструкций широкого назначения.

Существует область микроэлектромеханических систем (МЭМС), представленная пленочными емкостными устройствами, в основе принципа действия которых лежит электростатический накат гибких проводящих лент на диэлектрическую пленку. Отечественными учеными из СО РАН были исследованы задачи о притяжении упругой ленты к диэлектрической пленке [1], японскими учеными рассмотрен накат ленты в электростатическом микроклапане [2]. В начале 2000-х был разработан эффект преобразования энергии, основанный на электростатическом накате упругой металлической ленты на поверхность сегнетоэлектрической пленки [3]. Исследователи рассмотрели применение наката в ряде устройств, таких как микродвигатель поступательного типа [3] и микроинжекторы микроструй жидкости [4].

Целью исследования является решение научной проблемы в области создания новых моделей современных МЭМС с электростатическим накатом, а также представления методов их анализа.

Для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- разработка конструктивных схем и динамических моделей микродвигателей и микросенсорных устройств с системой пленочных емкостных микроактюаторов;
- анализ различных режимов движения устройств;
- определение областей допустимых параметров системы для требуемых режимов работы устройств;
- разработка программного обеспечения для аналитического и численного анализа различных режимов движения устройств.

Разрабатываемые устройства могут использоваться при построении систем управления и диагностики, использующихся для решения задач безопасности и обследования объектов тепловой и атомной энергетики, создании блоков измерения ускорений, датчиков давления, в системах навигации мобильных роботов и авионики.

Методы исследования механико-математических моделей подобных устройств определяются спецификой изучаемых объектов и включают в себя:

- теорию емкостных электромеханических структур;
- асимптотические методы нелинейной механики;
- методы математического моделирования и аналитических вычислений.

Для описания динамики рассматриваемых МЭМС необходимо следующие классы систем уравнений:

- дифференциальные уравнения для потенциалов электростатических полей с комбинацией подвижных и неподвижных границ емкостных структур; по результатам решения, которых определяется электростатическое давление на подвижных границах;
- нелинейные дифференциальные уравнения для краевой задачи продольно-поперечного изгиба гибких лент (стержней) переменной длины при действии электростатического давления (нелинейность связана с большими деформациями лент и их электростатическим нагружением); по результатам решения краевой задачи определяются реакции лент на массу рабочего элемента МЭМС (слайдера);

- дифференциальные уравнения движения масс слайдера с нелинейной правой частью; по результатам интегрирования анализируются режимы движения слайдера при наличии напряжения на обкладках емкостных структур.

Комплексное решение всей совокупности дифференциальных уравнений электромеханической системы со столь сложными граничными условиями требует разработки соответствующих численных процедур.

В данной работе каждая из сформулированных выше задач решаются самостоятельно при использовании различного рода упрощающих допущений.

Реверсивный электростатический микродвигатель вращения (рис. 1) содержит ротор 1 с упругими лентами 2а, 2б, статор 3, с последовательно нанесенными проводящим слоем 4, сегнетоэлектрической пленкой 5, систему управления и питания (СУиП) 6, датчик угловой скорости 7, и приводится в движение системой микроактюаторов. Ленты 2а, 2б и проводящий слой 4 образуют конденсаторы переменной емкости.

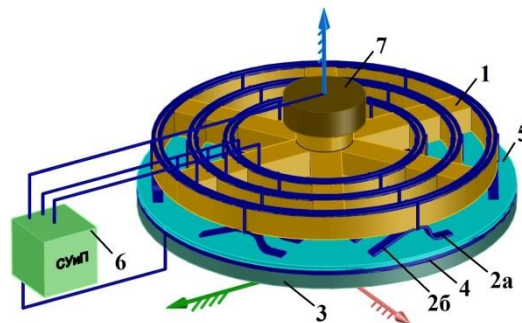


Рис. 1. Конструктивная схема микродвигателя

В пакете компьютерной алгебры *Maple* смоделирована динамика микроактюатора в шаговом режиме [6], в процессе разгона и в квазиустановившемся режиме [7, 8].

На основе принятой динамической модели микродвигателя вращения с учетом качества сопряжения контактирующих поверхностей (лента – пленка) построены его квазистационарные характеристики. На базе двухступенной упруго-массовой модели микроактюатора выполнен сравнительный анализ проскальзывания ленты на начальном этапе воздействующего импульса напряжения при учете сил адгезии.

Микромеханическое сенсорное устройство [9] (рис. 2) включает в себя чувствительный элемент 1 маятникового типа с упругими лентами 2а, 2б, основание 3. Чувствительный элемент 1, имеющий перфорационные отверстия 6, посредством торсионов 7 прикреплен к рамке 8.

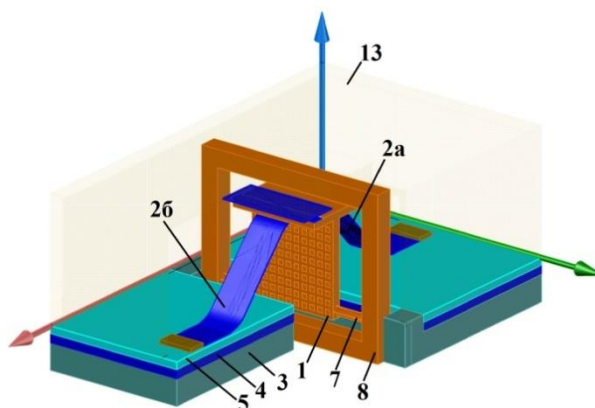


Рис. 2. Конструктивная схема микросенсорного устройства

Функционирование устройства возможно в качестве измерителя силового, кинематического возмущений в прямом и в компенсационном режимах.

Определены области допустимых значений основных параметров микросенсорного устройства исходя из величин допустимых механических напряжений и максимальных углов поворота сечений лент, а также от величины линейной зоны для чувствительности устройства.

Построена линейная модель сенсорного устройства. Установлены влияния базового напряжения и базового угла наклона лент на величину чувствительности системы. Установлено, что увеличение базовых напряжения и угла наклона лент приводит к повышению чувствительности.

На следующих этапах проекта будут разработаны конструктивные схемы и динамические модели микродвигателей, микросенсорных устройств с системой емкостных пленочных микроактюаторов со встроенными пьезоэлектрическими преобразователями. Предполагается, что указанные модели микроустройств позволят реализовать различные варианты движения рабочего элемента (слайдера): поступательное или вращательное; при этом накат гибких слоистых лент микроактюаторов будет осуществляться на плоские либо цилиндрические поверхности подложек.

В рамках указанных моделей будут выполнены следующие разработки:

- определены статические характеристики пьезопреобразователей;
- разработана методика расчета электростатического давления, действующего на гибкие ленты при их накате в неоднородном электростатическом поле при накате на цилиндрические поверхности подложки;
- установлено влияние упруго-массовых параметров микроактюаторов на динамику микродвигателей и чувствительность микросенсорных устройств;
- определены влияния внешних вибрационных воздействий на характеристики МЭМС.

Исследования по проекту выполняются при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-08-01072-а), совета по грантам Президента Российской Федерации (победитель конкурса 2013 года на право получения стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам № СП-4911.2013.3).

Список использованных источников

1. Плёночная электромеханика В.Л. Дятлов, В.В. Коняшкин, Б.С. Потапов и др. – Новосибирск: «Наука», 1991.
2. Sato K., Shikida M. An electrostatically actuated gas valve with S-shaped film element // Journal of micromechanics and microengineering. – 1994. – Vol. – 4. – P. 205–209.
3. Baginsky I.L., Kostsov E.G. High-energy capacitance electrostatic micromotors // Journal of micromechanics and microengineering. – 2003. – Vol. – 13. – P. 190–200.
4. Ахметов Д.Г., Косцов Э.Г., Соколов А.А. Микроэлектромеханические электростатические высокопроизводительные инжекторы микроструй жидкости // Нано- и микросистемная техника. – 2008. – № 1. – С. 53-60.
5. Реверсивный электростатический микродвигатель вращения: пат. на изобр. 2513030 Рос. Федерация: МПК⁵¹ H02N1/00 / В. Ф. Устинов, А.С. Степанов: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». – 2012113770/07; заявл. 10.04.2012; опубл. 20.04.2014.
6. Устинов В.Ф., Степанов А.С. Моделирование динамики электростатического планарного микродвигателя // Вестник МЭИ. – 2010. – №4. – С. 12-19.
7. Устинов В.Ф., Степанов А.С. Анализ динамики разгона и квазиустановившегося режима электростатического планарного устройства // Вестник МЭИ. – 2012. – №1. – С. 78-84.

8. Степанов А.С. Анализ режимов работы планарного микроактюатора с электростатическим накатом // Труды конференции-конкурса молодых учёных. 12-14 октября 2011 г. Под редакцией академика РАН Г.Г. Черного, профессора В.А. Самсонова. М.: Изд-во Моск. Ун-та. – 2012. – С. 30-37.

9. Устинов В.Ф., Степанов А.С. Разработка модели и исследование динамики микромеханического сенсорного устройства с электростатическим накатом упругих лепестков на сегнетоэлектрическую пленку // Вестник МЭИ. – 2013. – № 3. – С. 21-26.