

УДК 621.3.049.77

КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЖЕСТКОСТИ ПАЛЬЦЕВ ГРЕБЕНОК ЭЛЕКТРОДОВ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

^{1,2}Лысенко И.Е., ¹Ежова О.А., ³Лашков А.В.

¹ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», Таганрог, e-mail: igor@fep.tti.sfedu.ru;

²ООО «Центр нанотехнологий», Таганрог;

³ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А. Гагарина», Саратов, e-mail: 19lashkov88@rambler.ru

Базовым классом компонентов микросистемной техники являются микроэлектромеханические системы (МЭМС) – устройства с интегрированными в объеме или на поверхности твердого тела электронными и микромеханическими структурами. Интеграция МЭМС с оптическими компонентами позволила выделить отдельный класс компонентов микросистем. Основными элементами данных систем являются микроэлектромеханические преобразователи, включающие в себя электростатические приводы и емкостные преобразователи перемещений. Разработан критерий оценки жесткости пальцев подвижных и неподвижных электродов микроэлектромеханических преобразователей, позволяющий оценить максимальную длину пальцев электродов с целью снижения вероятности наступления эффекта неконтролируемого электростатического притяжения. Проведен анализ результатов моделирования. Получены оценки максимальной длины пальцев электродов в зависимости от длины их перекрытия и прикладываемого напряжения.

Ключевые слова: МЭМС, электромеханические преобразователи, модель, моделирование

ASSESSMENT CRITERION OF THE RIGIDITY OF COMB ELECTRODES FINGERS OF MICROELECTROMECHANICAL CONVERTERS

^{1,2}Lysenko I.E., ¹Ezhova O.A., ³Lashkov A.V.

¹Southern Federal University, Taganrog, e-mail: igor@fep.tti.sfedu.ru;

²Nanotechnology center, Llc, Taganrog;

³Saratov State University, Saratov, e-mail: 19lashkov88@rambler.ru

The base class components microsystem technology are microelectromechanical systems (MEMS) – devices with integrated volume or on the surface of a solid electronic and micromechanical structures. Integration of MEMS and optical components allowed to allocate a separate class of microsystems components. The main elements of these systems are MEMS transducers, which include electrostatic actuators and capacitive displacement transducers. Assessment criterion of the rigidity of comb electrodes fingers of the microelectromechanical converters is developed. Assessment criterion allowing to estimate the maximal length of electrodes fingers with the purpose of decrease of approach probability of snap-down effect. An analysis of the modeling results have been carried out. The estimations of the maximal length of electrodes fingers are received depending on length of their overlapping and applied voltage.

Keywords: MEMS, electromechanical converters, model, modeling

Возникшая в середине 80-х годов прошлого века на стыке электроники, механики и оптики микросистемная техника остается одним из наиболее динамично развивающихся научно-технических направлений. Базовым классом компонентов микросистемной техники являются микроэлектромеханические системы (МЭМС) – устройства с интегрированными в объеме или на поверхности твердого тела электронными и микромеханическими структурами. Интеграция МЭМС с оптическими компонентами позволила выделить отдельный класс компонентов микросистем, названный микрооптикоэлектромеханическими системами. Основными элементами данных систем являются микроэлектромеханические преобразователи, включающие в себя электростатические приводы и емкостные преобразователи перемещений [1, 2].

При проектировании электростатических приводов и емкостных преобразователей перемещений микромеханиче-

ских устройств необходимо учесть ряд эффектов, приводящих к возникновению неконтролируемого электростатического притяжения подвижных и неподвижных структур [3].

Постановка проблемы

Как следует из принципов работы микромеханических устройств [3, 4, 6], для корректной работы необходимо возвратно-поступательное или вращательное движение подвижных элементов. Однако, как видно на рис. 1, при подаче отклоняющих напряжений между неподвижными и подвижными электродами электромеханических преобразователей возникает объемное электрическое поле, приводящее к отклонению подвижных электродов не только вдоль оси Y , но и вдоль осей X и Z [7].

Так как подвижные и неподвижные электроды электромеханических преобразователей изготавливаются в одном структур-

ном слое, то можно выделить следующий вид технологической погрешности – дрейф зазора между пальцами гребенчатых структур [6]. Указанная технологическая погрешность приводит к возникновению колебаний подвижных элементов под действием результирующей электростатической силы вдоль оси X , обусловленных растяжением/

сжатием балок упругого подвеса подвижных электродов.

Как показано в работах [6, 7] амплитуда данных колебаний составляет единицы процентов от величины зазора между пальцами электродов и не вносит существенный вклад в возникновение неконтролируемого электростатического притяжения.

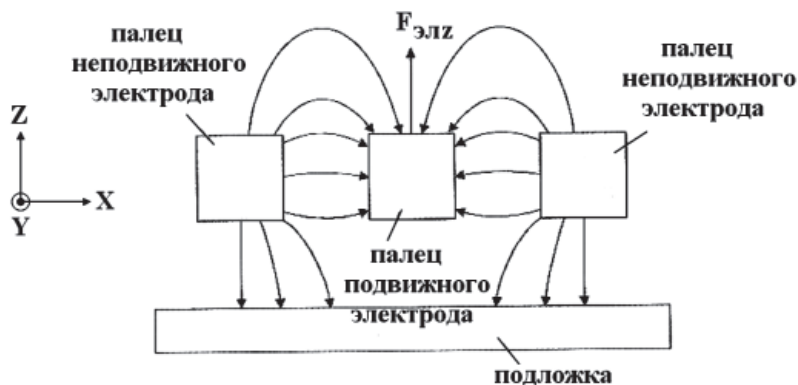


Рис. 1. Схема взаимодействия гребенчатых электродов электростатических приводов

Кроме того, электрическое поле вдоль оси X способно вызвать эффект неконтролируемого электростатического притяжения

пальцев гребенок электродов электромеханических преобразователей при недостаточной их жесткости (рис. 2) [7].

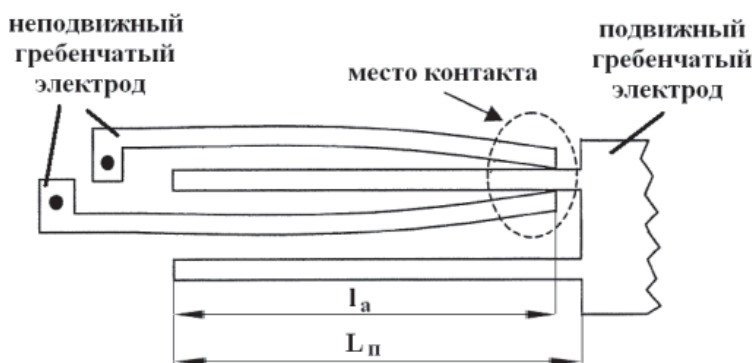


Рис. 2. Электростатическое притяжение подвижных и неподвижных электродов

Поэтому при расчете топологии электростатических приводов и емкостных преобразователей перемещений микромеханических устройств необходимо учитывать влияние данной составляющей электрического поля и ввести критерий оценки жесткости пальцев подвижных и неподвижных электродов электромеханических преобразователей.

Результаты моделирования

На основе выражений для оценки жесткости консольных балок и расчета электростатической силы, создаваемого планарными электростатическими приводами [5, 6], получен критерий оценки максимальной длины пальцев гребенок

электродов электромеханических преобразователей:

$$L_n = l_a + w_n g_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{18l_a \epsilon \epsilon_0 U^2}},$$

где w_n – ширина пальцев гребенки электродов; l_a^n – длина перекрытия пальцев гребенок электродов; g_0 – расстояние между пальцами гребенок подвижных и неподвижных электродов; E – модуль Юнга; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость воздушного зазора; ϵ_0 – электрическая постоянная; U – напряжение.

На рис. 3–6 представлены зависимости максимальной длины пальцев гребенок электродов от длины их перекрытия и прикладываемого напряжения.

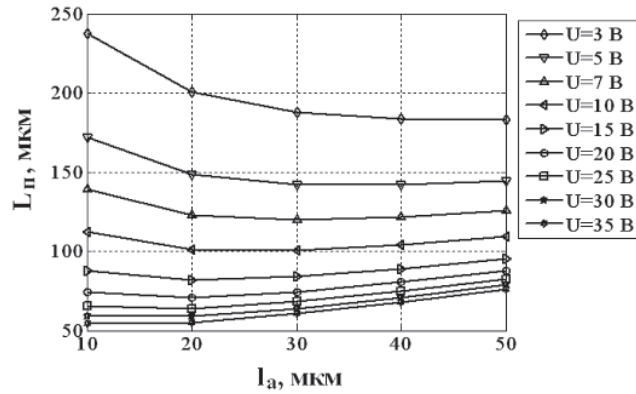


Рис. 3. Зависимость максимальной длины пальцев гребенок электродов от длины их перекрытия при $w_n = 1 \text{ мкм}$ и $g_0 = 1 \text{ мкм}$

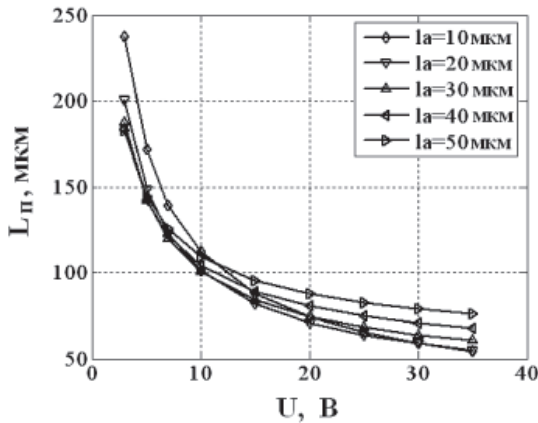


Рис. 4. Зависимость максимальной длины пальцев гребенок электродов от прикладываемого напряжения при $w_n = 1 \text{ мкм}$ и $g_0 = 1 \text{ мкм}$

Влиянием электрического поля вдоль оси Z , создаваемого электростатическими приводами, приводит к возникновению эффекта левитации подвижных структур микромеханических гироскопов и, следовательно, возникновению квадратурной ошибки. Для устранения данного эффекта подложка заземляется и получаемое асимметричное электрическое поле, действующее в верхней части электростатических приводов, неспособно вызвать колебания с амплитудой, существенно влияющей на квадратурную ошибку. Для устранения асимметричного электрического поля могут быть применены дополнительные неподвижные электроды, расположенные над гребенчатыми структурами подвижных и неподвижных электродов [7].

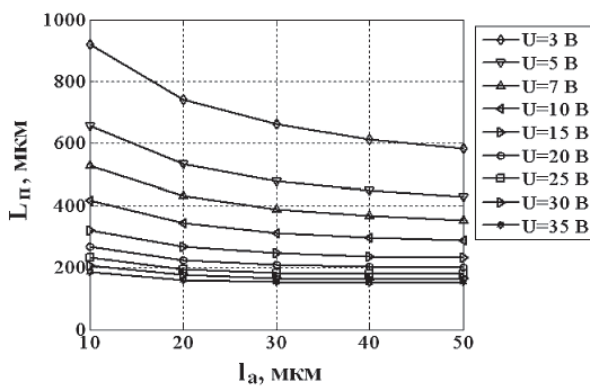


Рис. 5. Зависимость максимальной длины пальцев гребенок электродов от длины их перекрытия при $w_n = 2 \text{ мкм}$ и $g_0 = 2 \text{ мкм}$

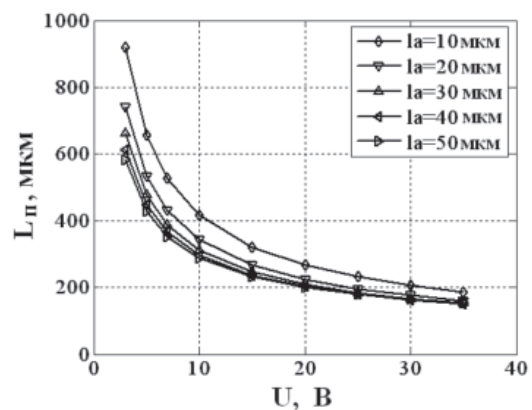


Рис. 6. Зависимость максимальной длины пальцев гребенок электродов от прикладываемого напряжения при $w_n = 2 \text{ мкм}$ и $g_0 = 2 \text{ мкм}$

Заключение

Так как все электромеханические преобразователи обратимы [3, 6], т.е. могут работать как электростатические приводы, так и как емкостные преобразователи перемещений, то при наступлении определенных условий последние начнут работать в качестве электростатических приводов. Критерии, позволяющие определить данные условия обратимости, могут быть получены из уравнений равновесия чувствительных элементов микромеханических устройств.

Предложенный критерий оценки максимальной длины пальцев гребенок подвижных и неподвижных электродов может использоваться при проектировании микромеханических устройств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Гос. соглашение № 14.А18.21.0126) в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Изделия микросистемной техники – основные понятия и термины / В.Д. Вернер, А.А. Иванов, Н.Г. Коломенская, В.В. Лучинин, П.П. Мальцев, И.В. Попова, А.Н. Сауров, В.А. Телец // Нано- и микросистемная техника. – 2007. – № 12. – С. 2–5.
2. Современные тенденции развития микросистемной техники / В.Д. Вернер, П.П. Мальцев, А.А. Резнев, А.Н. Сауров, Ю.А. Чаплыгин // Нано- и микросистемная техника. – 2008. – № 8. – С. 2–6.
3. Гридчин В.А., Драгунов В.П. Физика микросистем: учеб. пособие. В 2 ч. Ч.1.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 416 с.
4. Лысенко И.Е. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники.– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 103 с.

5. Лысенко И.Е., Шерова Е.В. Моделирование упругого подвеса трехосевого микромеханического гироскопа-акселерометра // Известия вузов. Электроника. – 2009. – № 4. – С. 48–55.

6. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение. – 2007. – 400 с.

7. Palaniapan M. Integrated surface micromachined frame microgyroscopes. – University of California, Berkeley, 2002. – 168 p.

References

1. Verner V.D., Ivanov A.A., Kolomenskaya N.G., Luchinin V.V., Maltsev P.P., Popova I.V., Saurov A.N., Telec V.A. Izdeliya mikrosistemnoi tekhniki – osnovnye ponyatiya i terminy // Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2007. no. 12. pp. 2–5.
2. Verner V.D., Maltsev P.P., Reznev A.A., Saurov A.N., Chaplygin Yu.A. Sovremennye tendencii razvitiya mikrosistemnoi tekhniki // Nano- i mikrosistemnaya tekhnika. 2008. no. 8. pp. 2–6.
3. Gridchin V.A., Dragunov V.P. Fizika mikrosistem: Ucheb. posobie. V 2 ch. Ch.1. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2004. 416 p.
4. Lysenko I.E. Proektirovanie sensornyh i aktyuatorynyh elementov mikrosistemnoi tekhniki. Taganrog: Izdatel'stvo TRTU, 2005. 103 p.
5. Lysenko I.E., Sherova E.V. Modelirovanie uprugogo podvesa trehosevogo mikromekhanicheskogo giroskopa-akselerometra // Izvestija vuzov. Elektronika. 2009. no. 4. pp. 48–55.
6. Raspopov V.Ya. Mikromekhanicheskie pribory. M.: Mashinostroenie. 2007. 400 p.
7. Palaniapan M. Integrated surface micromachined frame microgyroscopes. University of California, Berkeley, 2002. 168 p.

Рецензенты:

Рындин Е.А., д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник ЮНЦ РАН;

Жорник А.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической, общей физики и технологии ФГБОУ ВПО ТГПИ.

Работа поступила в редакцию 26.10.2012.