

УДК 519.63: 621.37:621.3.049.76

**ВЛИЯНИЕ МАССЫ ПОДВИЖНОГО ЭЛЕКТРОДА
НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ МЭМ СИСТЕМ****В.П. Драгунов¹, Л.С. Драгунова²**¹Новосибирский государственный технический университет²Сибирский университет потребительской кооперации

В статье представлены результаты исследований особенностей функционирования двухэлектродных МЭМС с изменяющимся межэлектродным зазором с учетом веса подвижного электрода и электромеханических взаимодействий. Анализ проводился в нелинейном приближении для возвращающей и электростатической сил. Установлено, что сила веса и нелинейность возвращающей силы в совокупности могут приводить к появлению дополнительного экстремума на зависимости смещения подвижного электрода от величины приложенного напряжения. Показано, что дополнительный экстремум появляется, только если $\beta > 5$ и $F^* < -4$. Установлено, что сила веса и нелинейность системы приводят к появлению максимумов на зависимостях глубины модуляции емкости и относительного диапазона контролируемого изменения емкости от силы веса. Получены аналитические выражения, позволяющие оценить оптимальные значения коэффициента нелинейности, при которых глубина модуляции емкости и относительный диапазон контролируемого изменения емкости принимают максимальные значения. Показано, что за счет оптимального использования силы веса подвижного электрода в МЭМС с нелинейной зависимостью возвращающей силы от величины смещения подвижного электрода глубина модуляции емкости и относительный диапазон контролируемого изменения емкости могут быть увеличены в несколько раз по сравнению с МЭМС с линейной зависимостью возвращающей силы.

Ключевые слова: электростатическая сила, вес электрода, глубина модуляции емкости, статическое равновесие, диапазон контролируемого изменения емкости.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-3-50-60

Введение

При разработке и создании ряда микроэлектромеханических систем (МЭМС) таких как геофоны, микроэлектромеханические преобразователи энергии механических колебаний в электрическую энергию, различные инерциальные системы, работающих при ускорениях α_0 , часто не превышающих нескольких g (g – ускорение свободного падения), возникает необходимость учета собственно го веса F_0 движущихся частей системы. В зависимости от ориентации МЭМС в пространстве значение проекции силы веса F на направление нормали к поверхности подвижного элемента изменяется от $-F_0$ до F_0 и во многих случаях может даже превышать основное воздействие, вызванное ускорением α_0 .

В работе [1] в линейном приближении для возвращающей силы упругих элементов показано, что у двухэлектродной электромеханической системы с изменяющимся межэлектродным зазором учет силы веса сводится заменой переменной x на $x^* = (x - F/k)$ (где k – коэффициент квазиупругой силы) к анализу аналогичной системы с невесомым подвижным электродом, т. е. в линейном приближении учет силы веса в этом случае сводится лишь к смещению начала отсчета в точку $x_0^* = -F/k$.

В то же время в работах [2–5] показано, что в нелинейном приближении для возвращающей силы упругих элементов в поведении МЭМС могут появляться особенности, которых нет у линейной системы.

В [1] анализ особенностей функционирования двухэлектродных МЭМС с изменяющимся межэлектродным зазором был также проведен и в нелинейном приближении для возвращающей и электростатической сил, но без учета веса подвижного электрода.

В данной работе проводится анализ особенностей функционирования двухэлектродных МЭМС с изменяющимся межэлектродным зазором с учетом веса подвижного электрода и электромеханических взаимодействий в нелинейном приближении для возвращающей и электростатической сил.

1. Модель

Рассмотрим основные особенности поведения МЭМС на примере простейшей двухэлектродной электромеханической системы (рис. 1), здесь 1, 2 – соответственно неподвижный и подвижный электроды; 3 – упругие подвесы, V_0 – напряжение между подвижным и неподвижным электродами, d_0 – начальное расстояние между электродами, x – величина смещения подвижного электрода от положения равновесия. Будем полагать, что на подвижный элемент МЭМС (в данном случае это подвижный электрод) действуют сила упругости пружины (возвращающая сила), электростатическая сила и постоянная сила F_0 (например, сила тяжести), не зависящая от смещения подвижного электрода.

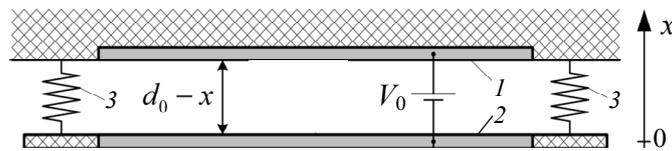


Рис. 1 – Схема простейшей электромеханической системы

Fig. 1 – The simple electromechanical system circuit

Для такой системы уравнение равновесия (баланс сил) во многих случаях может быть записано в виде [2, 3, 6]

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - k_3 x^3 + \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{2} \left(\frac{V_0}{d_0 - x} \right)^2 + F, \quad (1)$$

где m – масса подвижного электрода; k – коэффициент квазиупругой силы; k_3 – коэффициент, характеризующий нелинейность возвращающей силы, ϵ_0 – электрическая постоянная; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость газа в межэлектродном зазоре; S – площадь электрода.

В безразмерных переменных (1) принимает вид

$$\frac{d^2 z}{d\tau^2} = -z - \beta z^3 + \frac{\lambda}{(1-z)^2} + F^*, \quad (2)$$

где $\lambda = C_0 V_0^2 / 2kd_0^2$ – безразмерное напряжение; $z = x / d_0$ – относительное смещение подвижного электрода; $\beta = k_3 d_0^2 / k$, $\tau = \omega_0 t$; $C_0 = \epsilon_0 \epsilon S / d_0$; $\omega_0 = \sqrt{k / m}$ и $F^* = F / kd_0$.

Таким образом, с учетом веса подвижного электрода поведение двухэлектродной системы определяется тремя параметрами λ , β и F^* .

2. Анализ работы МЭМС

Анализ поведения МЭМС проведем при неизменных или очень медленно меняющихся воздействиях – статическое приближение.

В этом приближении уравнение, связывающее параметр λ с координатой положения статического равновесия \bar{z} , принимает вид

$$\Phi(\bar{z}, \lambda, \beta) = (\bar{z} + \beta\bar{z}^3 - F^*)(1 - \bar{z}^2) - \lambda = 0. \quad (3)$$

На рис. 2 приведены зависимости положения статического равновесия \bar{z} подвижного электрода от величины безразмерного напряжения λ , рассчитанные с использованием (3), при нескольких значениях β и F^* . Видно, что в случае, когда сила F_0 стремится увеличить межэлектродный зазор ($F^* < 0$), на данных зависимостях появляется дополнительный экстремум. То есть при отрицательных F^* могут существовать две критические точки, характеризующиеся значениями относительного смещения $z_{кр,1}$ и $z_{кр,2}$ и безразмерного напряжения $\lambda_{кр,1}$ и $\lambda_{кр,2}$.

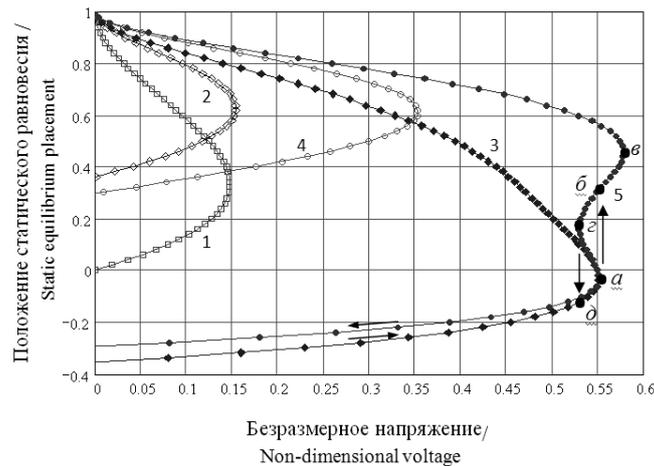


Рис. 2 – Зависимость положения статического равновесия от величины безразмерного напряжения λ :

1 – $\beta = 0$, $F^* = 0$; 2 – $\beta = 4,2$, $F^* = 0,55$; 3 – $\beta = 4,2$, $F^* = -0,55$;
4 – $\beta = 10$, $F^* = 0,55$; 5 – $\beta = 10$, $F^* = -0,55$

Fig. 2 – The dependence of static equilibrium placement vs non-dimensional voltage λ :

1 – $\beta = 0$, $F^* = 0$; 2 – $\beta = 4,2$, $F^* = 0,55$; 3 – $\beta = 4,2$, $F^* = -0,55$;
4 – $\beta = 10$, $F^* = 0,55$; 5 – $\beta = 10$, $F^* = -0,55$

Такое поведение системы объясняется тем, что при отрицательных \bar{z} возвращающая и электростатическая силы направлены в одну сторону (к неподвижному электроду) и обе стремятся вернуть систему в нейтральное положение, из которого

она была выведена силой F_0 ($F^* < 0$). При переходе из точки a (дополнительная критическая точка) в точку b электростатическая сила монотонно возрастает (не меняя направления), а возвращающая сила при $\bar{z} > 0$ изменяет направление и быстро (нелинейно) возрастает, но теперь уже действуя против электростатической силы, как и F_0 . При этом в точке b тоже достигается равновесие.

В результате при медленном увеличении управляющего напряжения λ величина смещения подвижного электрода \bar{z} будет сначала монотонно уменьшаться (кривая 5, рис. 2), пока не достигнет дополнительной критической точки (точка a), потом смещение \bar{z} скачком изменится до значения, соответствующего точке b , а затем продолжит монотонно изменяться до второй критической точки (точка v – основная критическая точка). При этом дальнейшее увеличение λ приведет к неконтролируемому перемещению подвижного электрода к неподвижному вплоть до соприкосновения электродов (эффект схлопывания).

Если же, не достигнув основной критической точки, начать уменьшать λ , то обратный скачок произойдет при значениях \bar{z} и λ , соответствующих точке z . В результате зависимости положения подвижного электрода от приложенного напряжения при смене направления изменения напряжения не совпадут, и будет наблюдаться своеобразный гистерезис.

На рис. 3 приведены зависимости смещения подвижного электрода \bar{z} и приведенного напряжения λ от времени, рассчитанные с использованием (2) при очень медленном изменении приложенного напряжения. Видно, что при $\beta = 10$ и $F^* = -0,55$ (эти параметры соответствуют кривой 5 на рис. 2) положения подвижного электрода при увеличении и уменьшении приложенного напряжения не совпадают.

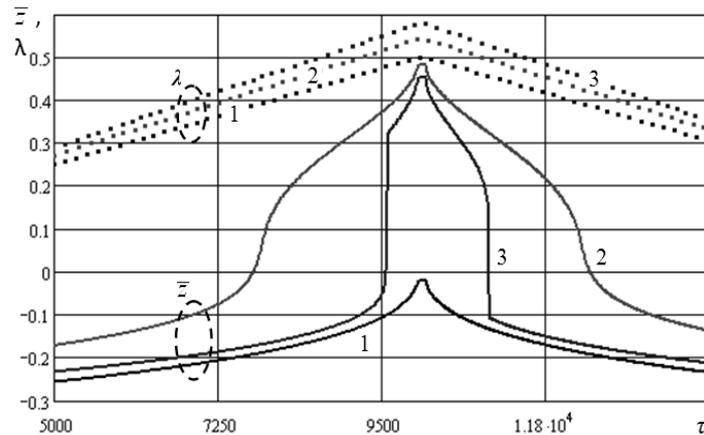


Рис. 3 – Зависимости положения статического равновесия \bar{z} и величины безразмерного напряжения λ (точки) от безразмерного времени τ :

$$1 - \beta = 5, F^* = -0,5; 2 - \beta = 10, F^* = -0,42; 3 - \beta = 10, F^* = -0,55$$

Fig. 3 – Static equilibrium placement \bar{z} and non-dimensional voltage λ vs non-dimensional time τ dependences:

$$1 - \beta = 5, F^* = -0,5; 2 - \beta = 10, F^* = -0,42; 3 - \beta = 10, F^* = -0,55$$

В то же время зависимости 1 и 2 (рис. 3) положения подвижного электрода при увеличении и уменьшении приложенного напряжения, рассчитанные с использованием значений параметров β и F^* , при которых дополнительный экстремум еще не возникает, совпадают. Значения параметров β и F^* в этом случае сказываются лишь на форме кривых.

На рис. 4 приведены зависимости смещения подвижного электрода от величины приведенного напряжения при его очень медленном увеличении и уменьшении.

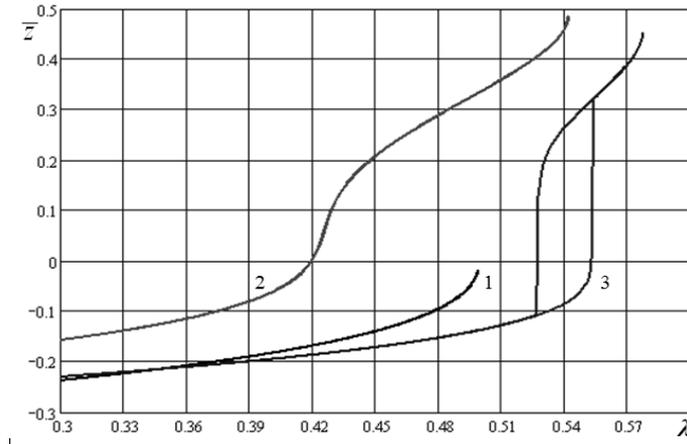


Рис. 4 – Зависимости положения статического равновесия \bar{z} от величины безразмерного напряжения λ :

1 – $\beta = 5$, $F^* = -0,5$; 2 – $\beta = 10$, $F^* = -0,42$; 3 – $\beta = 10$, $F^* = -0,55$

Fig. 4 – Static equilibrium placement \bar{z} vs non-dimensional voltage λ dependences:

1 – $\beta = 5$, $F^* = -0,5$; 2 – $\beta = 10$, $F^* = -0,42$; 3 – $\beta = 10$, $F^* = -0,55$

Видно, что на зависимости, соответствующей $\beta = 10$ и $F^* = -0,55$, появляется гистерезис, а на других зависимостях гистерезиса нет.

Наличие линейной компоненты у возвращающей силы уменьшает данный эффект. Поэтому особенности, присущие конкретной системе, могут быть связаны также с формой упругих подвесов и электродов, с жесткостью системы и другими ее конструктивными особенностями.

Согласно (3) при учете нелинейности упругих подвесов зависимость критического смещения от величины β определяется уравнениями

$$\bar{z}_{кр,1}(\beta, F^*) = \frac{1}{5\beta} An(\beta, F^*) + \frac{1}{5} \frac{\beta - 5}{An(\beta, F^*)} + \frac{1}{5}, \quad (4)$$

$$\bar{z}_{кр,i}(\beta, F^*) = -\mu_1 - \mu_2 + 0,2 \pm j\sqrt{3}(\mu_1 - \mu_2), \quad i = 2, 3, \quad (5)$$

где

$$An(\beta, F^*) = \sqrt[3]{\left(5 + 25F^* + \beta + 5\sqrt{\frac{5 - 2\beta + \beta^2 + (10 + 25F^* + 2\beta)\beta F^*}{\beta}}\right)\beta^2},$$

$$\mu_1 = \frac{An(\beta, F^*)}{10\beta}, \quad \mu_2 = \frac{\beta - 5}{10An(\beta, F^*)}.$$

Анализ выражений (4) и (5) показывает: 1) что $\bar{z}_{кр,1}$ и $\bar{z}_{кр,2}$ определяют соответственно координаты основной и дополнительной критических точек (точки a и b на рис. 2), а $\bar{z}_{кр,3}$ – координату точки минимума между ними (точка c на рис. 2); 2) при значениях безразмерной силы $F^* = -0,55$ и $0,4$ координаты критических точек $\bar{z}_{кр,1}$ и $\bar{z}_{кр,2}$ не зависят от β (т. е. от степени нелинейности системы) и равны соответственно 0 и 0,6.

На рис. 5 приведены зависимости положения критических точек от безразмерной силы F^* , рассчитанные с использованием (4) и (5). Сплошными линиями показаны зависимости $\bar{z}_{кр,1}|_{\beta}$, пунктиром – $\bar{z}_{кр,2}|_{\beta}$, точками – $\bar{z}_{кр,3}|_{\beta}$.

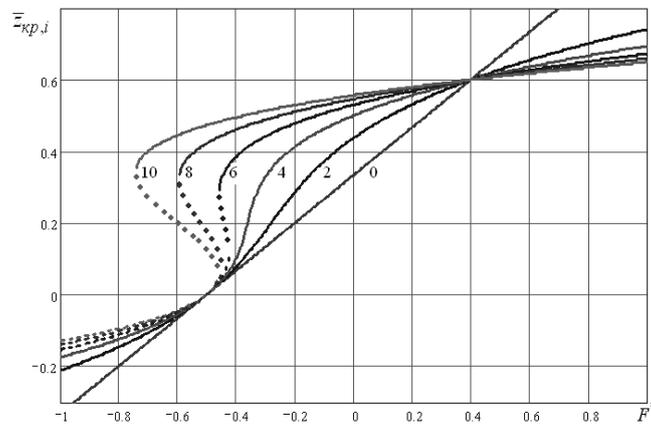


Рис. 5 – Зависимость положения критических точек от величины безразмерной силы F^* . Цифры у кривых показывают значения параметра β , при которых построена соответствующая кривая

Fig. 5 – Dependence of critical points placement vs non-dimensional force F^* . The curve number indicates the value of parameter β

Из анализа этих зависимостей и уравнений (4) и (5) следует, что дополнительный максимум появляется, только если $\beta > 5$ и $F^* < -4$.

Уравнения (4) и (5) позволяют также рассчитать зависимости достижимых глубины модуляции емкости $\eta = C_{\max} / C_{\min}$ и относительного диапазона контролируемого изменения емкости $\eta d = 2(C_{\max} - C_{\min}) / (C_{\max} + C_{\min})$ при изменении приложенного напряжения от величины безразмерной силы F^* .

На рис. 6 и 7 приведены зависимости достижимых глубины модуляции емкости η и относительного диапазона контролируемого изменения емкости ηd от величины безразмерной силы F^* .

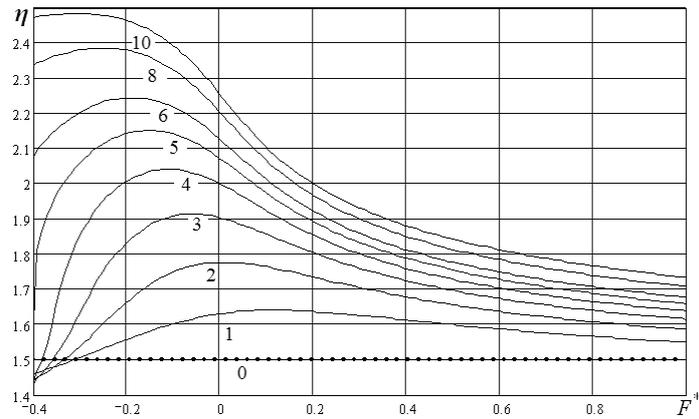


Рис. 6. – Зависимость достижимой глубины модуляции емкости η от величины безразмерной силы F^* . Цифры у кривых показывают значения параметра β , при которых построена соответствующая кривая

Fig. 6 – Dependence of achievable capacitance variation depth η vs non-dimensional force F^* value. The curve number indicates the value of parameter β

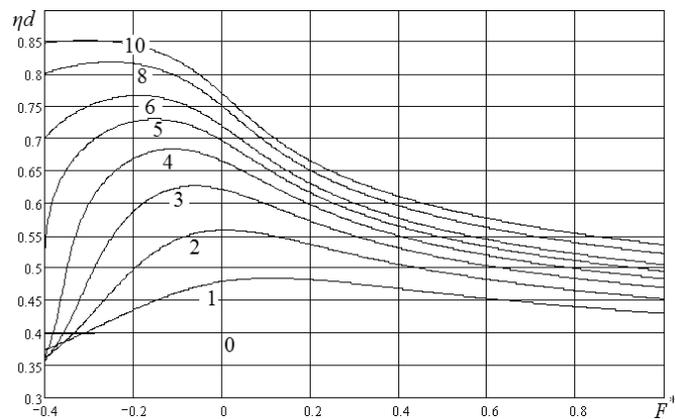


Рис. 7 – Зависимость достижимого относительного диапазона контролируемого изменения емкости ηd от величины безразмерной силы F^* . Цифры у кривых показывают значения параметра β , при которых построена соответствующая кривая

Fig. 7 – Dependence of achievable relative range of controlled capacitance variation ηd vs non-dimensional force F^* value. The curve number indicates the value of parameter β

Особенностью данных зависимостей является наличие максимумов. С увеличением β положение максимумов смещается в область отрицательных F^* , а значения η и ηd в максимумах возрастают. Отметим также, что если в линейном

для возвращающей силы приближении η и ηd не зависят от веса подвижного электрода и равны соответственно 1,5 и 0,4, то с увеличением нелинейности механической системы значения этих параметров при изменении веса подвижного электрода меняются.

На рис. 8 приведены зависимости максимально достижимых глубины модуляции емкости η_{\max} и относительного диапазона контролируемого изменения емкости ηd_{\max} от величины параметра β . Для $\beta \leq 10$ эти зависимости с погрешностью менее 2 % можно аппроксимировать выражениями:

$$\eta_{\max} = 1,5 + 0,156\beta - 0,0057\beta^2 \quad \text{и} \quad \eta d_{\max} = 0,4 + 0,086\beta - 0,004\beta^2.$$

Видно, что за счет оптимального использования силы веса подвижного электрода в МЭМС с нелинейной зависимостью возвращающей силы от величины смещения подвижного электрода глубина модуляции емкости и относительный диапазон контролируемого изменения емкости могут быть увеличены в несколько раз по сравнению с МЭМС с линейной зависимостью возвращающей силы от величины смещения подвижного электрода.

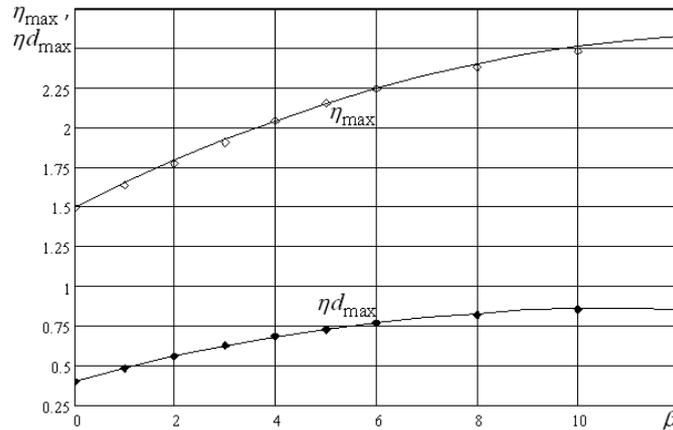


Рис. 8 – Зависимости максимально достижимых глубины модуляции емкости η_{\max} и относительного диапазона контролируемого изменения емкости ηd_{\max} от величины параметра β

Fig. 8 – The maximal achieved capacitance variation depth η_{\max} and relative controlled capacitance variation range ηd_{\max} vs value of parameter β dependencies

Из условия статического равновесия (3) также следует, что система останется управляемой, если при заданных β и F^* величина λ будет меньше

$$\lambda_{\text{кр}} = (\bar{z}_{\text{кр}} + \beta \bar{z}_{\text{кр}}^3 - F^*) (1 - \bar{z}_{\text{кр}})^2,$$

а приложенное напряжение V_0 не превысит

$$V_{0,\text{кр}} = \sqrt{\frac{2kd_0^2}{C_0} (\bar{z}_{\text{кр}} + \beta \bar{z}_{\text{кр}}^3 - F^*) (1 - \bar{z}_{\text{кр}})^2}. \quad (6)$$

Заключение

Проведен анализ влияния силы веса подвижного электрода на поведение двух-электродных МЭМС с плоскопараллельной конструкцией электродов с учетом электромеханических взаимодействий в нелинейном приближении для возвращающей и электростатической сил. Установлено, что сила веса и нелинейность возвращающей силы в совокупности могут приводить к появлению дополнительного экстремума на зависимости смещения подвижного электрода от величины приложенного напряжения.

Показано, что дополнительный экстремум появляется, только если $\beta > 5$ и $F^* < -4$.

Установлено, что сила веса и нелинейность системы приводят к появлению максимумов на зависимостях глубины модуляции емкости и относительного диапазона контролируемого изменения емкости от силы веса.

Получены аналитические выражения, позволяющие оценить оптимальные значения коэффициента нелинейности, при которых глубина модуляции емкости и относительный диапазон контролируемого изменения емкости принимают максимальные значения.

Показано, что за счет оптимального использования силы веса подвижного электрода в МЭМС с нелинейной зависимостью возвращающей силы от величины смещения подвижного электрода глубина модуляции емкости и относительный диапазон контролируемого изменения емкости могут быть увеличены в несколько раз по сравнению с МЭМС с линейной зависимостью возвращающей силы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгунов В.П., Драгунова Е.В. Особенности функционирования МЭМ систем // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – № 6. – С. 43–52.
2. Драгунов В.П. Нелинейная модель упругого элемента микроэлектромеханических систем // Нано- и микросистемная техника. – 2004. – № 6. – С. 19–24.
3. Драгунов В.П. Нелинейная динамическая модель упругого элемента микроэлектромеханических систем // Нано- и микросистемная техника. – 2004. – № 10. – С. 23–29.
4. MEMS electrostatic vibration energy harvester without switches and inductive elements / V. Dorzhiev, A. Karami, P. Basset, V. Dragunov, D. Galayko // Journal of Physics: Conference Series. – 2014. – Vol. 557, N 1. – P. 012126-1–012126-5. – doi: 10.1088/1742-6596/557/1/012126.
5. Electret-free micromachined silicon electrostatic vibration energy harvester with the Bennet's doubler as conditioning circuit / V. Dorzhiev, A. Karami, P. Basset, F. Marty, V. Dragunov, D. Galayko // IEEE Electron Device Letters. – 2015. – Vol. 36, iss. 2. – P. 183–185. – doi: 10.1109/LED.2014.2387213.
6. Fargas-Marques A., Casals-Terre J., Shkel A.M. Resonant pull-in condition in parallel-plate electrostatic actuators // Journal of Microelectromechanical Systems. – 2007. – Vol. 16, iss. 5. – P. 1044–1050. – doi: 10.1109/JMEMS.2007.900893.

AN INFLUENCE OF THE MOBILE ELECTRODE WEIGHT ON FUNCTIONING MEMS

Dragunov V.P.¹, Dragunova L.S.²

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian University of Consumer Cooperation, Novosibirsk, Russian Federation

The results of investigations of operational characteristics of parallel plate MEMS with a variable electrode gap are presented in this paper. The effects of the mobile electrode weight and electromechanical interaction were also taken into account. The analysis was carried out in a non-

linear case for restoring and electrostatic forces. It was found that the weight and the nonlinearity of the restoring force in the aggregate could produce an additional extremum on the dependence of the mobile electrode displacement vs an applied voltage. An additional extremum appears only in the case when $\beta > 5$ and $F^* < -4$. It was ascertained that the weight and system nonlinearity produce maximums on the dependences of the capacitance modulation depth vs weight and a relative range of controlled capacitance variation vs weight. The found analytic forms give a possibility to evaluate an optimal value of a nonlinear coefficient when the capacitance modulation depth and a relative range of the controlled capacitance variation have maximum values. It was found that in the case of an optimal mobile electrode weight in MEMS with a nonlinear dependence of the restoring force vs the mobile electrode displacement the capacitance variation depth and the relative range of the controlled capacitance variation could be increased as compared to MEMS with the restoring force linear dependence.

Keywords: electrostatic force, electrode weight, capacitance variation depth, static equilibrium, relative range of the controlled capacitance variation.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-3-50-60

REFERENCES

1. Dragunov V.P., Dragunova E.V. Osobennosti funktsionirovaniya MEM sistem [Specific features of MEM systems functioning]. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika – Nano and Microsystem Technique*, 2015, no. 6, pp. 43–52.
2. Dragunov V.P. Nelineynaya model uprugogo elementa mikroelektromekhanicheskikh sistem [Nonlinear model of elastic element for MEMS]. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika – Nano and Microsystem Technique*, 2004, no. 6, pp. 19–24.
3. Dragunov V.P. Nelineinaya dinamicheskaya model' uprugogo elementa mikromekhanicheskikh sistem [Nonlinear dynamic model of elastic element for MMS]. *Nano i mikrosistemnaya tekhnika – Nano and Microsystem Technique*, 2004, no. 10, pp. 23–29.
4. Dorzhiev V., Karami A., Basset P., Dragunov V., Galayko D. MEMS electrostatic vibration energy harvester without switches and inductive elements. *Journal of Physics: Conference Series*, 2014, vol. 557, no. 1, pp. 012126-1–012126-5. doi: 10.1088/1742-6596/557/1/012126
5. Dorzhiev V., Karami A., Basset P., Marty F., Dragunov V., Galayko D. Electret-free micro-machined silicon electrostatic vibration energy harvester with the Bennet's doubler as conditioning circuit. *IEEE Electron Device Letters*, 2015, vol. 36, iss. 2, pp. 183–185. doi: 10.1109/LED.2014.2387213
6. Fargas-Marques A., Casals-Terre J., Shkel A.M. Resonant pull-in condition in parallel-plate electrostatic actuators. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2007, vol. 16, iss. 5, pp. 1044–1050. doi: 10.1109/JMEMS.2007.900893

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Драгунов Валерий Павлович – родился в 1947 году, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры ППиМЭ Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: наноэлектроника, физика низкоразмерных структур, нано- и микросистемная техника. Опубликовано более 130 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. Email: drag@adm.nstu.ru).

Dragunov Valery Pavlovich (b. 1947) – Doctor of Sciences (Eng.), Professor at the Department of semiconductor devices and microelectronics in Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on nanoelectronics, physics of low-dimensional structures, nano- and microsystem technology. He is author of more than 130 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation. Email: drag@adm.nstu.ru).



Драгунова Людмила Соломоновна – родилась в 1951 году, доцент кафедры информатики Сибирского университета потребительской кооперации. Область научных интересов: информатика, информационные технологии. Опубликовано более 60 научных работ. (Адрес: 630087, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 26. Email: secmet@sibupk.nsk.su).

Dragunova Lyudmila Solomonovna (b. 1951) – Associate professor at the Department of computer science in Siberian University of Consumer Cooperation. The area of her scientific interests is computer science and information technology. She has published more than 60 scientific papers. (Address: 26, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630087, Russian Federation. Email: secmet@sibupk.nsk.su).

*Статья поступила 28 августа 2015 г.
Received August 28, 2015*

To Reference:

Dragunov V.P., Dragunova L.S. Vliyanie massy podvizhnogo elektroda na funktsionirovanie MEM sistem [An influence of the mobile electrode weight on functioning MEMS]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 3 (28), pp. 50–60. doi: 10.17212/1727-2769-2015-3-50-60