

Исследование динамических характеристик микромеханического акселерометра

Зорина Е.В., Аршинова А.А.

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры ТПС
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Lenchka0892@gmail.com

Объектом исследования является микроэлектромеханический акселерометр.

Основным элементом микроакселерометра является емкостный микромеханический твердотельный кремниевый сенсор. Принцип работы акселерометров основан на измерении смещения инерционной массы относительно корпуса и преобразовании его в пропорциональный электрический сигнал. При нулевом ускорении инерционная масса находится в центральном положении между двумя параллельными кремниевыми пластинами. Под воздействием ускорения масса смещается в одну из сторон, изменяя тем самым пропорционально ускорению величину емкости конденсаторов. Дифференциальное изменение ёмкостей датчика измеряется специализированной микросхемой.

Структура чувствительного элемента изготавливается из монокристаллического кремния, имеющего очень низкое остаточное напряжение, тем самым снижается возможность изгиба структуры и влияние на параметры измерений.

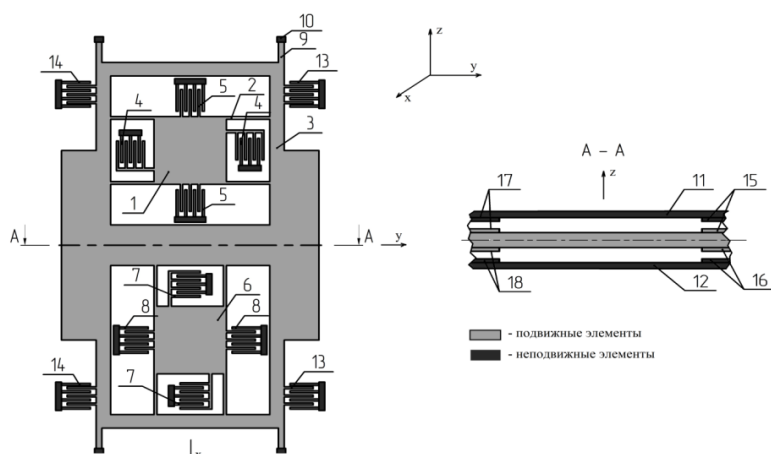


Рисунок 1– Функциональная схема сенсора акселерометра

Сенсор акселерометра (рисунок 1) содержит наружную раму 9, установленную на подложке 12 при помощи упругого подвеса 9 и анкеров 10. Упругий подвес обеспечивает свободу перемещения рамы вместе с инерционными телами 1 и 6 вдоль оси Z.

Инерционное тело 1 имеет возможность перемещаться на упругом подвесе 2 вдоль оси X.

Инерционное тело 6 перемещается вдоль оси Y.

Гребенчатые электроды 4 входят в состав преобразователя механического перемещения инерционного тела 1 вдоль оси X. Это перемещение возникает при наличии ускорения вдоль оси X. Гребенчатые структуры 5 выполняют роль исполнительных элементов, формирующих корректирующие воздействия и обратную связь по оси X. Гребенчатые электроды 7 входят в состав преобразователя механического перемещения инерционного тела 6 вдоль оси Y. Это перемещение возникает при наличии ускорения вдоль оси Y. Гребенчатые структуры 8 выполняют роль исполнительных элементов, формирующих корректирующие воздействия и обратную связь по оси Y.

Электроды 15, 16, 17, 18 входят в состав преобразователя механического перемещения рамы 3 вдоль оси Z. Это перемещение возникает при наличии ускорения вдоль оси Z. Гребенчатые структуры 13, 14 выполняют роль исполнительных элементов, формирующих корректирующие воздействия и обратную связь по оси Z.

Математическая модель

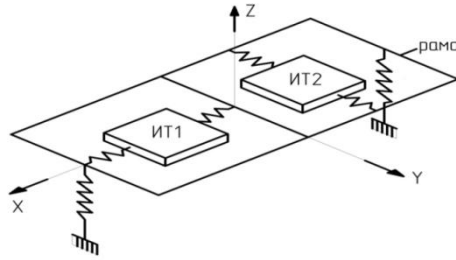


Рисунок 2 – Эквивалентная схема сенсора акселерометра

Составим уравнения движения сенсора акселерометра, эквивалентная схема которого представлена на рисунке 2.

При выводе уравнений полагаем, что жёсткости G_z, G_x, G_y упругих подвесов сенсора по осям чувствительности намного меньше жесткостей тех же подвесов в перекрёстных направлениях. Это требование является основополагающим при проектировании сенсора.

Система координат $OXYZ$ (рисунок 3) связана с корпусом, который перемещается поступательно с ускорением, имеющим проекции на оси XYZ : a_x, a_y, a_z и вращается с угловыми скоростями $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$.

Система координат $O_1X_1Y_1Z_1$ связана с инерционным телом ИТ1, $O_2X_2Y_2Z_2$ – с инерционным телом ИТ2, $O_3X_3Y_3Z_3$ – с общей рамой. Уравнения движения сенсора акселерометра, полученные при помощи уравнений Лагранжа второго рода, имеют вид

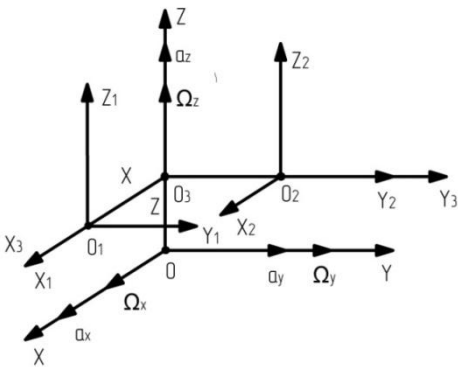


Рисунок 3 – Системы координат, связанные с сенсором

$$(m_1 + m_2 + m_3)\ddot{z} + z[G_z - (m_1 + m_2 + m_3)(\Omega_y^2 + \Omega_x^2)] + \mu_z \dot{z} = (m_1 + m_2 + m_3)a_z - 2m_2\Omega_x \dot{y} + 2m_1\Omega_y \dot{x} - m_2y \cdot \Omega_z \Omega_y - m_1x\Omega_x \Omega_z, \quad (1)$$

$$m_1\ddot{x} + \mu_x \dot{x} + x[G_x - m_1(\Omega_z^2 + \Omega_y^2)] = m_1a_x - 2m_1\Omega_y \dot{z} + m_1z\Omega_x \Omega_z, \quad (2)$$

$$m_2\ddot{y} + \mu_y \dot{y} + y[G_y - m_2(\Omega_x^2 + \Omega_z^2)] = m_2a_y + 2m_2\Omega_x \dot{z} - m_2z\Omega_y \Omega_z. \quad (3)$$

Моделирование акселерометра в программе Simulink

Произведено моделирование уравнений (12-14) движения сенсора акселерометра, графики представлены на рисунках 4 – 6.

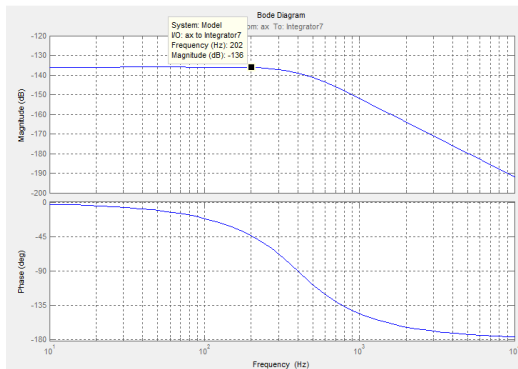


Рисунок 4 – АЧХ для x при $\xi=0.7, f=400$ Гц

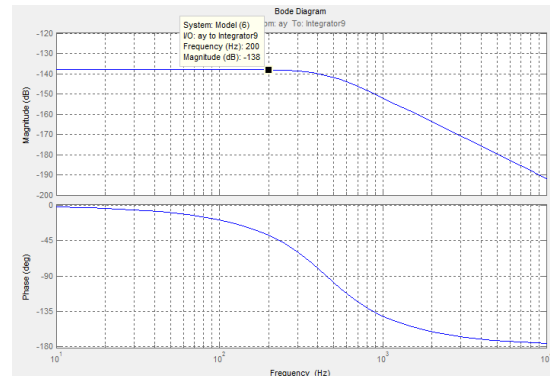


Рисунок 5 – АЧХ для y при $\xi=0.7, f=450$ Гц

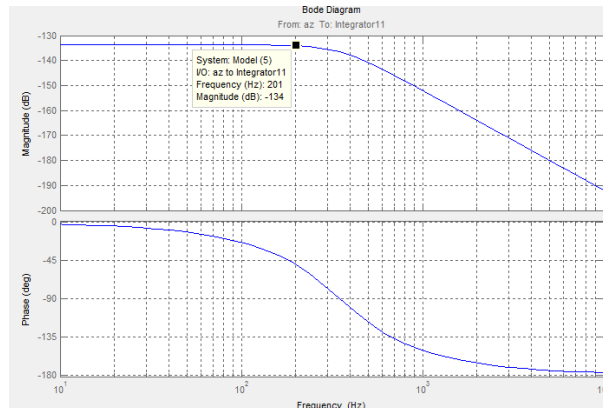


Рисунок 6 – АЧХ для $\xi=0.7$, $f=350$ Гц

Из графиков, приведенных на рисунках 4-6 можно сделать вывод, что АЧХ движения сенсора акселерометра не изменяются в интересующем нас диапазоне до 200 Гц.

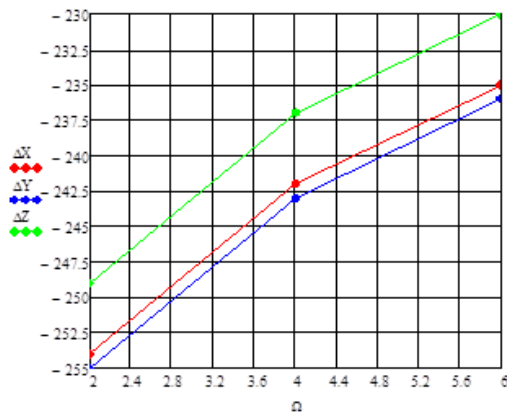


Рисунок 7 – График зависимости погрешностей перемещения сенсора акселерометра от угловой скорости Ω

Из графика, представленного на рисунке 7, можно сделать вывод, что при увеличении угловой скорости уменьшается погрешность перемещения сенсора.

Создание имитационной модели акселерометра

Построена трехмерная модель разработанного акселерометра, используя программный продукт T-FLEX CAD 3D с помощью команды выталкивание на высоту 30 мкм. Рисунок полученного сенсора показан на рисунке 8. Далее проводится частотный и статический анализ полученной модели акселерометра при помощи программного продукта T-FLEX Анализ.

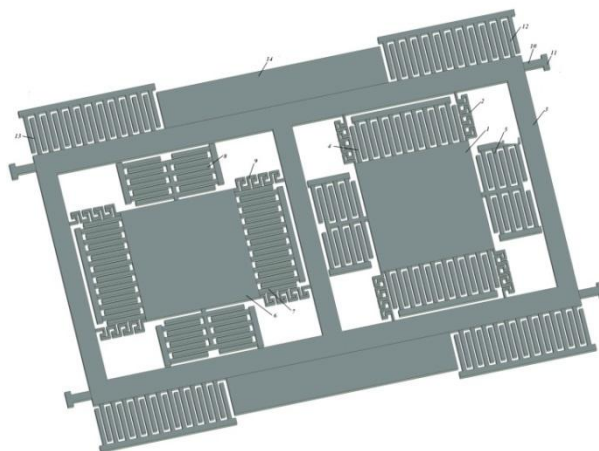


Рисунок 8 – Имитационная модель акселерометра
1,2 - ИМ1, ИМ2, 2,9,10 – упругие элементы подвеса, 5,7,8,12,13,14 – емкостные преобразователи перемещения

Динамика МЭМС описывается системой дифференциальных уравнений, а коэффициенты уравнений определяются на основании результатов трёхмерного

моделирования конструкции. Это позволяет сократить время проектирования, но при этом учитываются свойства материала сенсора, физические и геометрические нелинейности элементов сенсора, внутренние напряжения в системе, что приближает вычисления к изготовлению реального образца.

Работа выполнена в Томском политехническом университете при финансовой поддержке Минобрнауки России, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», Соглашение № 14.575.21.0068, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57514X0068.

Список литературы:

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. - М.: Машиностроение, 2007г. - 397с.
2. Костюченко Т.Г. T-FlexАнализ. Расчет собственных частот и форм колебаний конструкций. Методические указания по выполнению лабораторного практикума. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. - 21 с.

Слуховой имплантат МЭМС

Зорина Е.В., Аршинова А.А.

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры ТПС
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Lenchka0892@gmail.com

Слух – одно из пяти чувств человека – способность воспринимать звуки окружающего мира. Благодаря слуху, человек различает звуки, распознает их характер, локализацию, овладевает речью. Поэтому слуховой орган человека – самый совершенный и чуткий из всех его органов чувств: в нем наблюдается наибольшая концентрация нервных клеток и окончаний (только в “улитке” – одной из частей слухового аппарата – насчитывается около 30 000 чувствительных клеток).

Человек, в дневное время суток, может слышать звуки громкостью от 10-15 дБ и выше. Максимальный диапазон частот для человеческого уха, в среднем - от 20 до 20 000 Гц (возможный разброс значений: от 12-24 до 18000-24000 герц). В молодости - лучше слышен среднечастотный звук с частотой 3 КГц, в среднем возрасте - 2-3КГц, в старости - 1КГц. Такие частоты, в первые килогерцы (до 1000-3000 Гц - зона речевого общения) - обычны в телефонах и по радио на СВ и ДВ диапазонах. С возрастом, воспринимаемый на слух звуковой диапазон сужается: для высокочастотных звуков - уменьшаясь до 18 килогерц и менее (у пожилых людей, каждые десять лет - примерно на 1000Гц), а для низкочастотных - увеличиваясь от 20 Гц и более [1].

Слуховой орган человека (рисунок 1) действует как приемник (наружное ухо), усилитель (среднее ухо) и передатчик (внутреннее ухо).

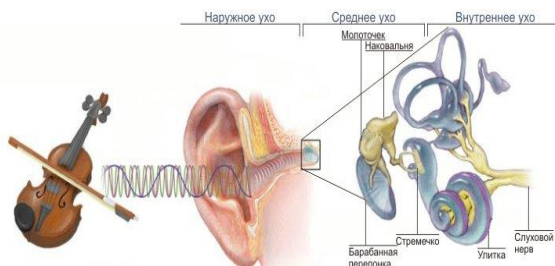


Рисунок 1 – Строение слухового органа человека