

УДК 531.768
ББК 34.9

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ МАССЫ КОМПЕНСАЦИОННОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА¹

Гайнов С. И.² Грязев А. А.³

В статье рассмотрен способ организации силовой обратной связи акселерометра, в котором ёмкостной датчик перемещения выполняет также функции силового электростатического преобразователя сигнала обратной связи.

Ключевые слова: микроакселерометр, обратная связь, электростатический преобразователь.

Введение

В настоящее время микроакселерометры, изготовленные по интегральной технологии, имеют широкую сферу применений: от потребительской электроники до систем навигации, ориентации и автоматического управления судов, ракет и летательных аппаратов. Благодаря особенностям микроэлектронных технологий микромеханические датчики технологичны в производстве [1] и имеют невысокую себестоимость, которая зависит, в основном, от величины изготовленной партии.

В то же время малые габариты, а вследствие этого малые величины измерительных ёмкостей (порядка 10 пФ) приводят к

¹ Авторы признательны А. Н. Долгову за ценное обсуждение содержания статьи

² Сергей Иванович Гайнов, аспирант НГТУ им. Р. Е. Алексеева, serazhsoft@gmail.com

³ Алексей Александрович Грязев, аспирант НГТУ им. Р. Е. Алексеева, alekseygryazev@gmail.com

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р. Е. Алексеева

появлению недостатков:

- а) высокие требования к точности изготовления;
- б) чувствительность к влиянию электромагнитных наводок и паразитных ёмкостей.

Известно, что датчики с обратной силовой связью, в том числе акселерометры, обладают лучшими статическими и динамическими характеристиками в сравнении с датчиками прямого измерения [2]. Конечно, применение силовых преобразователей: магнитоэлектрических, пьезоэлектрических и электростатических приводит к усложнению конструкции и технологии изготовления датчиков. Например, сила, развиваемая электростатическим силовым преобразователем, будет тем больше, чем больше площадь перекрытия обкладок, разность напряжений на них и чем меньше будет расстояние между ними, что сильно ограничено в микромеханическом сенсоре.

Перспективным направлением повышения точности акселерометров с ёмкостными преобразователями перемещений является использование обкладок преобразователя перемещений также и для создания силовой обратной компенсации.

1. Принцип организации обратной связи

Из определения электростатической силы известно, что её величина прямо пропорциональна квадрату напряжения:

$$(1) \quad F_i = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = |q = U_A C| = k \frac{(CU_A)^2}{r^2} \simeq U_{iA}^2.$$

Результирующая сила дифференциального электростатического преобразователя, соответственно, пропорциональна разности квадратов амплитудных напряжений на обкладках:

$$(2) \quad \Delta F \simeq U_{1A}^2 - U_{2A}^2 = (U_{1A} + U_{2A})(U_{1A} - U_{2A}).$$

Здесь первый множитель является постоянной величиной, а второй равен величине управляющего напряжения обратной связи ΔU . Зависимость значения амплитуды импульсов U_{1A} и U_{2A} от опорного напряжения схемы $U_{\text{ОП}}$:

$$(3) \quad U_{iA} = U_{\text{ОП}} \pm \Delta U.$$

Формирование импульсов происходит с помощью схемы, изображённой на рисунке 1.

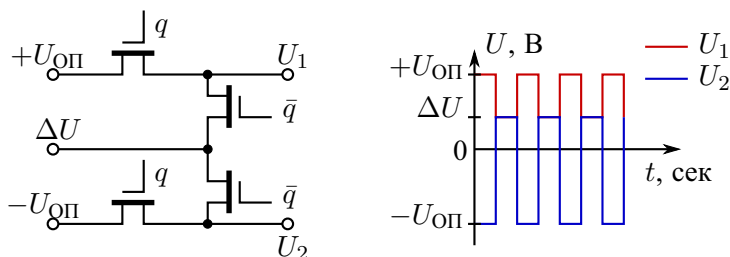


Рис. 1. К формированию импульсов

При приложении напряжений U_1 и U_2 к измерительным ёмкостям C_1 и C_2 , на них появятся заряды q_1 и q_2 , а на общей обкладке ёмкостей C_1 и C_2 , которая представляет собой чувствительную массу акселерометра, появится суммарный заряд (рисунок 2):

$$(4) \quad q_{\Sigma} = q_1 - q_2.$$

Как известно, величина заряда на обкладке конденсатора C_i зависит от его ёмкости и величины амплитуды сигнала U_i :

$$(5) \quad q_i = U_{iA} C_i.$$

Учитывая, что величины измерительных ёмкостей зависят от положения чувствительной массы

$$(6) \quad C_i = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{h \pm x},$$

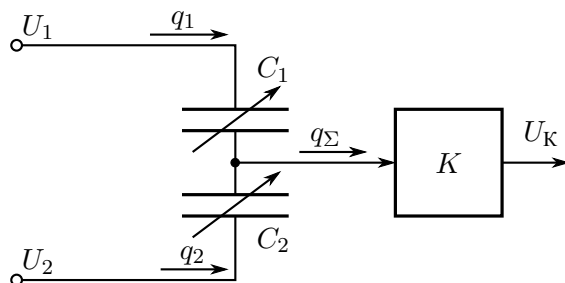


Рис. 2. Съём суммарного заряда с измерительных ёмкостей

где: ε — относительная диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 — электрическая постоянная; S — площадь перекрытия обкладок; h — зазор между обкладками измерительного конденсатора при нулевом положении чувствительной массы; x — величина смещения чувствительной массы относительно нулевого положения и вводя обозначение $k = \varepsilon\varepsilon_0 S$, получим:

$$(7) \quad q_{\Sigma} = \frac{kh}{h^2 - x^2} \Delta U + \frac{2kU_{\text{оп}}}{h^2 - x^2} x.$$

Для того чтобы сформировать выходной сигнал, необходимо вычесть из выражения 7 составляющую, зависящую от ΔU . Это возможно сделать, введя в прямую цепь (рисунок 3) звено с астатизмом K/s и дополнительную обратную связь с коэффициентом $K_{\Delta U}$.

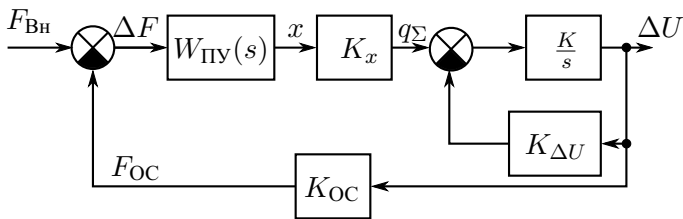


Рис. 3. Структурная схема акселерометра

Заключение

Приведён способ организации электростатической компенсации отклонения чувствительной массы ёмкостного преобразователя микроперемещений от положения равновесия при действии внешнего воздействия. Рассмотренный способ позволяет, не усложняя конструкции ёмкостного преобразователя, совместить в нем две функции, повышая при этом точность всего датчика. Управление напряжением на обкладках по сигналу обратной связи осуществлено без применения резистивного моста, что в свою очередь повышает стабильность обратной связи.

Литература

1. ВАВИЛОВ В.Д. *Микроэлектромеханические системы* монография / В.Д. Вавилов; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева — Н. Новгород, 2014. — 631 с.
2. ДОЛГОВ А.Н. *Схемотехника интегральных датчиков* учеб. пособие / А.Н. Долгов; под ред. В.Д. Вавилова; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева — Н. Новгород, 2014. — 129 с.

ORGANIZATION A POSITION CONTROL SENSIBLE MASS OF COMPENSATORY ACCELEROMETER

Sergey Gainov, Arzamas polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev, Arzamas, post-graduate student, (serazhsoft@gmail.com)

Aleksey Gryazev, Arzamas polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev, Arzamas, post-graduate student, (alekseygryazev@gmail.com)

Abstract: The article in question dwells on the way of organization the force feedback of accelerometer in wich capasitive shifting sensor carries out the functions of force electrostatic feedback signal changer.

Keywords: microaccelerometer, feedback, electrostatic changer.