

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА КВАРЦЕВОГО МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

К. М. Фадеев

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

В статье описывается принцип работы кварцевого маятникового акселерометра, дефекты, возникающие при создании маятника. Показаны недостатки текущего метода проверки маятников на производстве. Предложена конструкция стенда для исследования существующих дефектов.

Ключевые слова: кварц; акселерометр; Q-flex; MEMS

DEVELOPMENT OF THE EQUIPMENT FOR RESEARCH OF THE SENSITIVE ELEMENT OF THE QUARTZ PENDULUM ACCELEROMETER

K. M. Fadeev

Perm State University, Bukireva St. 15, 614990, Perm

This article describes how the quartz pendulum accelerometer works, the defects that occur when the pendulum is created. Shows the drawbacks of the current method of checking the pendulum in production. A bench the equipment has been proposed to investigate existing defects.

Keywords: quartz; accelerometer; Q-flex; MEMS

Приоритетной задачей современного приборостроения является создание приборов обладающих малой массой, размерами, электропотреблением и себестоимостью при безусловном выполнении целевой функции с заданной точностью.

С 60-х годов XX века начались научно-технические разработки в области миниатюрных датчиков и исполнительных устройств различного назначения на базе кремния – основного материала микроэлектроники. К настоящему времени перечень применяемых материалов значительно расширился. Единство материала и технологии микроэлектроники позволило создать миниатюрные конструкции на одном кристалле, объединяющем чувствительные элементы (ЧЭ), преобразующие и электронные компоненты, которые принято называть микроэлектромеханическими системами (МЭМС) [1].

МЭМС – это интегрированные системы с размерами от нескольких микрометров до миллиметров, которые объединяют в себе механические и электрические электронные компоненты. Элемент, реагирующий на изменение измеряемой величины, можно определить как первичный преобразователь, или чувствительный элемент (ЧЭ). К микромеханическим приборам относятся: микроакселерометры, микродатчики давления, микрогирометры.

В 80-х годах прошлого века компания Sundstrand Data Control разработала маятниковый микроакселерометр компенсационного типа Q-flex, в котором ЧЭ был выполнен из цельного диска кварца (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид акселерометра типа Q-flex (слева) [2] и его чувствительный элемент, выполненный из кварца (справа) [3]

Внешнее (опорное) кольцо маятника закреплено между двух магнитных систем, состоящих из высокостабильных магнитов и корпуса. Зазор в 20 мкм между чувствительной массой и магнитной системой представляет собой систему из двух пластин конденсатора на каждой стороне для детектирования емкости. Когда ускорение приложено перпендикулярно к ЧЭ, система отрицательной обратной связи получает сигнал ошибки от детектора емкости и пропускает ток через две катушки, прикрепленные симметрично к каждой стороне маятника. Сила Лоренца затем прикладывается к катушкам и, следовательно, маятник будет поддерживаться в захваченном состоянии в нулевой позиции. Так как ток, текущий через катушки, пропорционален приложенному ускорению, этот же ток, текущий через внешние нагрузочные резисторы, будет производить выходное напряжение пропорциональное ускорению (рис. 2).

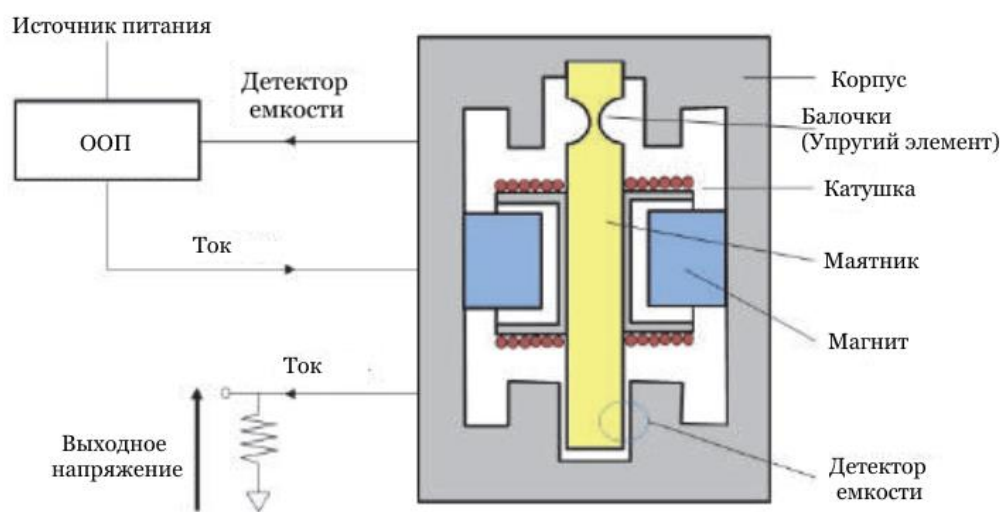


Рис. 2. Схема работы акселерометра [3]

Кварцевые акселерометры используются в различных отраслях: навигационная система морских, воздушных судов, ракет. Также они применяются в строительстве, в системах мониторинга в инклинометрах для измерения профиля нефтяных и газовых скважин в процессе бурения.

Несмотря на то, что конструкция Q-flex была разработана достаточно давно, нельзя говорить, что это устаревший тип датчиков. Q-flex акселерометры постоянно совершенствуются. Иногда происходит так, что незначительное изменение в конструкции элементов датчика или технологии их производства приводят к значительному улучшению точности акселерометра.

Первые акселерометры такого типа разрабатывались для автопилотных систем как дешевые приборы средней точности (цена за прибор была примерно несколько сотен американских долларов). За время их усовершенствования датчиков они превратились в высокоточные приборы навигационного класса. После нескольких поколений эволюции конструкция данного типа приборов незначительно изменилась, но их точностные параметры улучшены многократно. По этой причине они имеют цену порядка десятка тысяч американских долларов. Однако существует определенный процент брака и его причины чаще всего не ясны.

Существующими дефектами ЧЭ являются трещина балочки, соединяющей чувствительную массу с опорным кольцом, деформация маятника, разнотолщинность напыления, неплоскостность маятника (рис. 3). Все эти дефекты приводят к ухудшению точностных характеристик акселерометра.

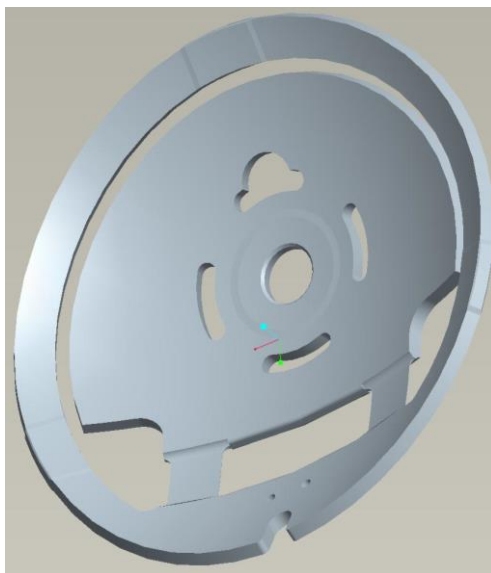


Рис. 3. Неплоскостность – один из дефектов ЧЭ

Существующий метод проверки ЧЭ на производстве не удовлетворяет необходимым требованиям. Во-первых, ЧЭ проверяются только на конечных стадиях изготовления. Во-вторых, такой метод проверки не исключает сборку акселерометра с бракованным маятником, так как он не показывает

все возможные дефекты. В связи с этим возникает потребность в создании нового метода исследования ЧЭ акселерометров – кварцевого маятника.

В основе проектирования стенда лежал измерение ЧЭ с помощью емкостных характеристик, как это происходит в самом акселерометре. Для этого по обе стороны от кварцевого маятника были установлены обкладки, на которых напылены электроды, повторяющие напыление маятника. Однако эти электроды были напылены сегментировано для получения более точной картины поведения маятника при его движении. Маятник с обкладками укладывается в корпус, и после чего закрывается крышками (рис. 4). Сигналы, снимаемые с помощью пружинных контактов, передаются на управляющую плату, после чего данные о поведении маятника передаются на осциллограф.

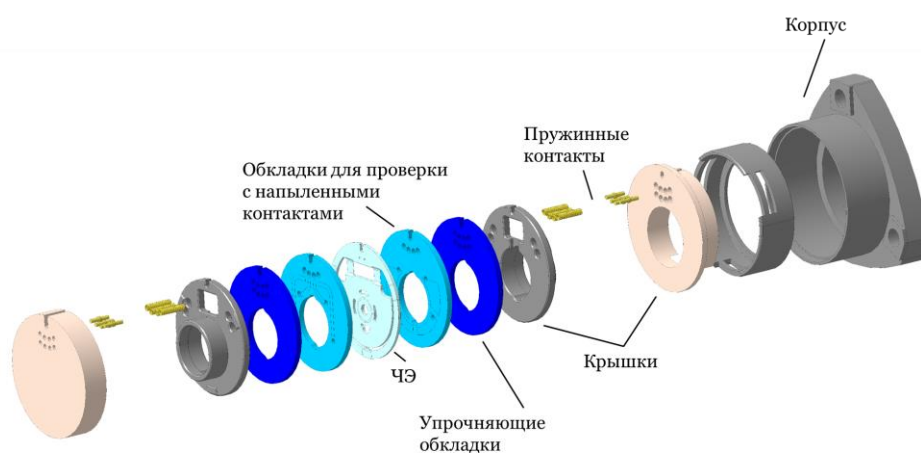


Рис. 4. Покомпонентное изображение основной части стенда для исследования ЧЭ

На данный момент стенд является законченным, однако исследования на нем еще не были произведены. В будущем планируется произвести такие исследования ЧЭ как влияние на движение ЧЭ неплоскости, поворот при нагреве из-за разнотолщинного напыления, искусственное создание дефектов для исследования их природы.

Список литературы

1. *Распопов В. Я.* Микромеханические приборы: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.
2. Aerospace. [Электронный ресурс]. URL: <https://aerospace.honeywell.com>
3. *Beitia J., Clifford A., Fell C., Loisel P.* Quartz pendulous accelerometers for navigation and tactical grade systems // Inertial Sensors and Systems Symposium (ISS). Karlsruhe, Germany. September 22–23, 2015. P. 1–20.