Таким образом, предлагаемая установка для определения внутреннего трения в материале позволяет непосредственно выявить искомый параметр в единицах измеряемой величины, что обеспечивает необходимую точность определения внутреннего трения в материале. Установка конструктивно проста и не требует высокой квалификации оператора при проведении испытаний.

Список литературы:

1. Установка для испытаний образцов при циклическом нагружении. Патент RU 2488804 МПК G01N 3/32. / Е.В. Лодус, А.В. Никифоров, А.Н. Павлович, Д.Ю. Таланов. Опубл. 27.07.2013.

2. Установка для испытания материалов на усталость. Патент RU 145586 МПК G01N 3/38. / И.О. Груздев, Л.Е. Каткова, Н.А. Елгаев, Л.Н. Шарыгин. Опубл. 20.09.2014.

3. Установка для ускоренных испытаний материалов на усталость. Патент RU 108843 МПК G01N 3/32. / А.Н. Сушина, Н.А. Елгаев, Л.Н. Шарыгин. Опубл. 27.09.2011.

4. Установка для усталостных испытаний деталей на остаточный ресурс. Патент RU 100622 МПК G01N 3/32. / А.Н. Сушина, Н.А. Елгаев, Л.Н. Шарыгин. Опубл. 20.12.2010.

5. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний / Л.М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 204 с.

6. Шарыгин Л.Н. Проектирование конкурентноспособных технических изделий: учебник / Л.Н. Шарыгин. – Владимир: изд-во ВИТ-принт, 2013. – 290 с.

АКСЕЛЕРОМЕТР

© Желтухина Л.В.[♣]

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
г. Владимир

Предложена конструкция акселерометра для измерения параметров поступательного движения. Отличительной особенностью конструкции является отсутствие кинематических пар постоянного трения, что исключает зону застоя и повышает порог чувствительности. Предусмотрено демпфирование для обеспечения линейной характеристики преобразования. Приведены необходимые расчетные соотношения.

[♣] Студент кафедры Технологического и экономического образования, студенческое конструкторское бюро «Хронос». Научный руководитель: Шарыгин Л.Н., профессор ВлГУ.

Ключевые слова: ускорение, инерционная масса, магнитоэлектрическое преобразование, частотный спектр.

Чувствительным элементом практически всех акселерометров является инерционная масса, связанная с упругим элементом. Инерционная масса чаще участвует в поступательном движении, иногда во вращательном. Используется как автоколебательный, так и апериодический режимы. В датчике ускорения [1] используется апериодический режим. В качестве упругого элемента применена коническая винтовая пружина. Вторичное преобразование индуктивное. Применены шариковые фиксаторы положения. Основным недостатком такой конструкции является наличие зоны застоя обусловленной значительной величиной постоянного (Кулонова) трения. Индуктивное преобразование предполагает внешнее электропитание. Автоколебательный режим [2, 4] характерен доя устройств компенсационного типа, которые предполагают достаточно сложные цепи обратной связи. Находят применение первичные преобразователи с распределенными параметрами, в частности консольные балки с оптическим вторичным преобразованием [3]. Передаточная функция при этом нелинейна.

Предлагаем основные технические решения по созданию акселерометра со следующими отличительными признаками:

– простота конструкции;
– линейность передаточной функции;
– генераторный тип.

Конструктивная схема акселератора содержит корпус 1 в виде чашки, внутри которой соосно закреплен винтами 2 каркас 3 электрической катушки 4. В корпусе имеется отверстие 5, рабочее сечение которого регулируется заслонкой 6. Заслонка может быть поворотного типа с осью вращения 7 и фиксатором 8. Инерционная масса представлена постоянным магнитом 9 цилиндрической формы. В качестве упругого элемента применена мембрана 10. Магнит завальцовкой закреплен в отверстии мембраны и образует жесткий центр. Мембрана по внешнему контуру закреплена в кольце 11, последнее винтами 14 крепится на корпусе 1. Таким образом, магнит 9 с небольшим зазором входит в отверстие каркаса 3. Мембраны (плоские и гофрированные) широко используются в промышленности, поэтому на рис. 1 соединение мембраны с магнитом и кольцом показано условно. Выводы обмотки 4 оформлены электрическим разъемом 13 с винтами 12.

Для пояснения принципа работы и обоснования принятых технических решений воспользуемся методом моделей [6]. Физическая модель показана на рис. 3. Магнит 9 представлен инерционной массой m, мембрана – жесткостью D, сопротивление перемещению отражено коэффициентом вязкого трения h.

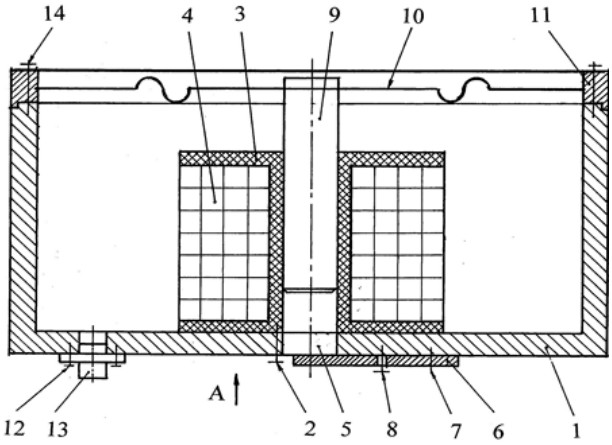


Рис. 1. Осевой разрез акселерометра

На систему действует внешняя сила

$$F(t) = ma, \tag{1}$$

где a – измеряемое ускорение.

В физической модели принято, что масса мембраны m_M мала по отношению к массе магнита

$$m_M << m. \tag{2}$$

Принятой физической модели соответствует математическая модель (без учета массы корпуса)

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + Dx = F(t), \tag{3}$$

где жесткость мембраны равна [7]

$$D = \frac{p64D_M}{R^2}, \tag{4}$$

здесь R – внешний радиус мембраны;

D_M – цилиндрическая жесткость мембраны:

$$D_M = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}; \tag{5}$$

E – модуль упругости первого рода материала

h – толщина мембраны;

μ – коэффициент Пуассона.

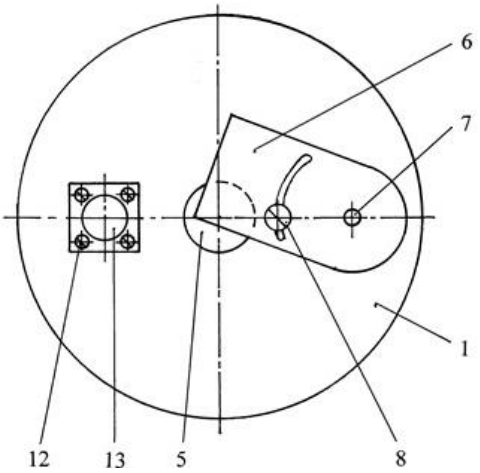


Рис. 2. Вид А по рис. 1

Уравнение (3) может быть представлено в виде

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{1}{m}F(t), \qquad (6)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$ – круговая резонансная частота;

$\delta = \frac{h}{2m}$ – коэффициент затухания.

Инерционная сила F(t) является неизвестной функцией времени, но с математической точки зрения важно, что эта функция не имеет разрывов, т.е. непрерывна. Тогда функция F(t) может быть разложена в гармонический ряд Фурье

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}\left(a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t\right). \qquad (7)$$

Коэффициенты Фурье равны:

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{(T)} F(t)\cos n\Omega t\, dt; \quad b_n = \frac{2}{T}\int_{(T)} F(t)\sin n\Omega t\, dt.$$

Ряд (7) показывает, что в разложении кроме постоянной составляющей присутствуют гармоники с кратными частотами

$$\lambda_n = a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t = A_{mn}\cos(n\Omega t + \Psi_n), \qquad (8)$$

где $A_{mn} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, амплитуда n-ой гармоники и Ψ_n начальная фаза $\psi_n = \text{arctg}\frac{a_n}{b_n}$.

Таким образом, на колебательную систему с частотой ω_0 воздействует бесконечное количество гармоник λ_n.

Одна из гармоник (8) ряда Фурье (7) окажется равной ω_0.

$$\omega_0 = n\Omega, \tag{9}$$

а это соответствует условию резонанса.

На резонансе будет резкий подъем амплитудной характеристики $A_{mn} = f(\omega)$, что приведет к такому же изменению выходного сигнала акселерометра, поскольку индуцируемая в катушке ЭДС пропорциональна скорости

$$e = -w\frac{d\phi}{dt} = кx, \tag{10}$$

где w – число витков катушки;

ф – магнитный поток;

к – конструктивный коэффициент.

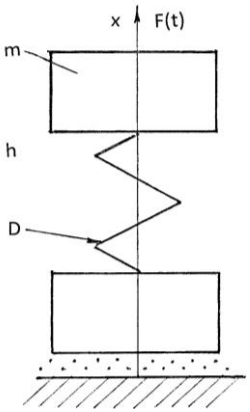


Рис. 3. Физическая модель

Для линеаризации амплитудной характеристики акселерометра следует приблизить колебательное звено к апериодическому, т.е. к критическому режиму, определяемому условием

$$\omega_0 = \delta. \tag{11}$$

Функцию демпфера (гасителя колебаний) выполняет регулируемое заслонкой 6 сечение отверстия 5 – чем меньше проходное сечение отверстия, тем больше коэффициент затухания.

Коэффициент вязкого трения составляет

$$h = \rho(S_м - S_0), \tag{12}$$

где $S_м$, S_0 – соответственно сечение магнита и эффективное сечение отверстия;

ρ – плотность воздуха.

Соответственно коэффициент затухания равен

$$\delta = \frac{h}{2m}. \tag{13}$$

Работает предлагаемый акселерометр следующим образом. Ориентируют акселерометр так, что измеряемое ускорение а действует по осевой линии прибора. Ускорение а создает действующую силу F(t) – формула (1). Эта сила обеспечивает смещение магнита 9, что приводит к возникновению в сигнальной катушке W_c ЭДС пропорциональной скорости смещения магнита – формула (10). Сигнал ЭДС обрабатывается вторичным блоком, где выявляется величина ускорения а. При изменении направления измеряемого ускорения на обратное изменяется полярность ЭДС.

Таким образом, предлагаемый акселерометр конструктивно прост, технологичен, имеет линейную характеристику преобразования, что обеспечивает необходимую точность измерения.

Список литературы:

1. Датчик ускорения. Патент RU 2 247992 МПК G01P 15/02 / О.Т. Федоркин. Опубл. 07.09.2002.

2. Преобразователь инерциональной информации. Патент RU 2 199755 МПК G01P 15/13, 9/02 / В.И. Баженов, К.А. Бахонин, В.П. Будкин и др. Опубл. 27.02.2003.

3. Акселерометр. Патент RU 2 481588 МПК G01P 15/13 / В.В. Кулешов, В.В. Савельев, Д.В. Кулешов. Опубл. 16.11.2011.

4. Линейный микроакселерометр. Патент RU 2 410703 МПК G01P 15/08 / А.В. Григорьев, Я.Н. Калаурный, А.И. Скалон. Опубл. 27.01.2011.

5. Устройство для измерения виброускорений. Патент RU 2 454645 МПК G01P 7/2 GOP 15/093 / И.С. Явелов, А.В. Синев, Л.А. Рыбак и др. Опубл. 27.06.2012.

6. Шарыгин Л.Н. Проектирование конкурентоспособных технических изделий: учебник / Л.Н. Шарыгин. – Владимир: ВИТ-принт, 2013. – 290 с.

7. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов/ Л.Е. Андреева. – М.: Машгиз, 1962. – 456 с.