
ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

УДК 681.586

В.М. ШАРАПОВ, Н.Ю. ПЛОСКОНОС

ПОПЕРЕЧНЫЙ АКСЕЛЕРОМЕТР С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*Черкасский государственный технологический университет
бул. Шевченка, 460, г.Черкассы, Украина, т. 0472-730211*

Анотація. Стаття присвячена проблемам створення п'єзоелектричних акселерометрів. Запропонована і досліджена конструкція поперечного п'єзокерамічного акселерометра.

Ключеві слова. п'єзоперетворювач, п'єзокерамічний акселерометр.

Abstract. The paper is devoted to the problems of piezoelectric acclerometers creation. The construction of transversal piezoceramics accelerometers is offered and researched.

Keywords: piezotransducer, piezoceramics accelerometers.

Аннотация. Статья посвящена проблемам создания пьезоэлектрических акселерометров. Предложена и исследована конструкция поперечного пьезокерамического акселерометра.

Ключевые слова: пьезопреобразователь, пьезокерамический акселерометр.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для контроля параметров вибрации применяются различные типы акселерометров, однако наиболее интересными и перспективными с точки зрения возможности реализации, простоты конструкции и электрической схемы, точности и стабильности представляются пьезоэлектрические преобразователи [1,2]. Это связано со свойством пьезокерамики приобретать пьезоактивность только на участках, к которым в процессе поляризации приложено электрическое поле, и возможность выполнения из пьезокерамики изделий сложной формы, а также в ряде случаев возможностью заменить многоэлементные конструкции одним монолитным пьезокерамическим блоком, различные области которого выполняют функции основных рабочих элементов акселерометра [1].

Обладая высокими характеристиками, такие акселерометры, вместе с тем, имеют и ряд недостатков, среди которых - существенная, изменяющаяся по азимуту, поперечная чувствительность. Методы их устранения подробно описаны в [1,2].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Создание чувствительного элемента пьезокерамического акселерометра на основе поперечного пьезоэлемента для повышения чувствительности, температурной и временной стабильности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

На рис. 1 показана конструкция поперечного акселерометра „Delta Shear” фирмы „Brüel & Kjer”.

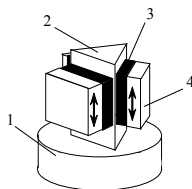


Рис. 1. Поперечный акселерометр „Delta Shear” фирмы „Brüel & Kjer” :
1 – основание; 2 – стойка; 3 – пьезоэлемент(3 шт.); 4 – инерциальная масса(3 шт.)

Этот акселерометр имеет малую боковую чувствительность, но сложную конструкцию, что отображается на его стоимости [4].

Авторами предложена конструкция акселерометра в которой используется пьезоэлемент в виде полого цилиндра, поляризованного по радиусу. В качестве инерционной (сейсмической) массы и упругого элемента используется масса и упругость пьезоэлемента (рис. 2). Это позволяет, благодаря полной осевой симметрии, свести до нуля боковую чувствительность и существенно упростить конструкцию акселерометра [5].

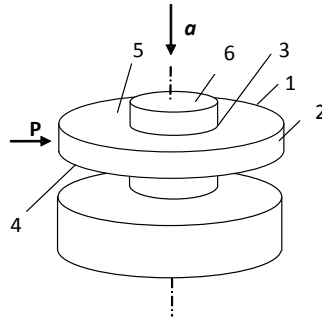


Рис. 2. Поперечный акселерометр:
1 – пьезоэлемент; 2,3,4,5 – электроды; 6 – стойка

Для уменьшения температурной и временной нестабильности в акселерометре предложено, также, использовать отрицательную электромеханическую обратную связь [1].

Для этой цели на торцах пьезоэлемента нанесены дополнительные электроды, включенные в цепь обратной связи (рис. 3) [5,6].

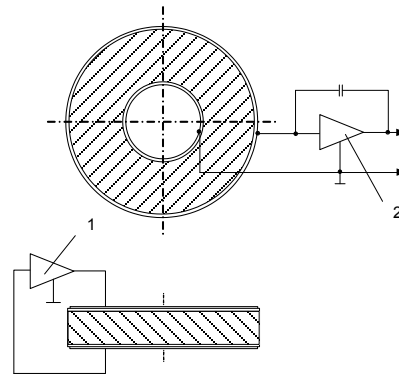


Рис.3. Схема подключения чувствительного элемента
1 – усилитель напряжения; 2 – усилитель заряда

Структурная схема акселерометра, построена согласно теории автоматического управления [7], изображена на рис. 4.

Передаточная функция этого устройства:

$$K_{oc}(p) = \frac{K_1 K_2 K_3(p) K_4(p) K_5(p)}{1 + K_2 K_3(p) K_4(p) K_5(p) K_6(p) K_7} = K_1 \frac{K(p)}{1 + K(p) \beta(p)}, \quad (1)$$

где $K(p) = K_2 K_3(p) K_4(p) K_5(p)$ – коэффициент передачи цепи прямого преобразования, охваченной ООС; $\beta(p) = K_6(p) K_7$ – коэффициент передачи цепи ООС.

Здесь звену с коэффициентом передачи K_1 соответствует преобразование ускорения a , действующей на пьезоэлемент ПЭ, в механическое напряжение σ_1 . Механическое напряжение σ численно равно силе, приходящейся на единицу площади сечения тела, т.е. $\sigma = \Delta a / \Delta S$. Если напряжение постоянно по всей площади сечения, то $\sigma = a / S$. Таким образом, в нашем случае, $\sigma_1 = a / S$. Отсюда получим:

$$K_1 = \frac{\sigma_1}{a} = \frac{1}{S}. \quad (2)$$

Звено K_2 соответствует преобразованию $\Delta \sigma$ в заряд q на электродах пьезоэлемента. Так как $q = d_{31} \Delta \sigma S$, то

$$K_2 = \frac{q}{\Delta\sigma} = d_{31}S, \quad (3)$$

где d_{31} – пьезомодуль.

Звено K_3 соответствует преобразованию заряда q в напряжение на электродах пьезоэлемента:

$$K_3 = \frac{1}{C_{I\dot{Y}}} \quad (4)$$

Звено $K_4(i)$ описывает процесс, происходящий при подключении нагрузки к пьезоэлементу. Переходная функция цепи будет равняться:

$$K_4(p) = \frac{U_{\dot{A}\dot{\sigma}}}{U_{I\dot{Y}_1}} \quad (5)$$

Звено K_5 соответствует передаточной характеристике усилителя напряжения, которая ведет себя как инерционное звено первого порядка [1], передаточная функция которого примет вид:

$$K_5(p) = \frac{K_{\dot{\sigma}i}}{1 + \rho\tau_{I\dot{\sigma}}}, \quad (6)$$

где $K_{\dot{\sigma}i}$ – коэффициент усиления операционного усилителя на низких частотах (единицы Герц); ρ – оператор Лапласа; $\tau_{I\dot{\sigma}} = \frac{K_{\dot{\sigma}i}}{2\pi f_1}$ – постоянная времени ОУ; f_1 – частота единичного усиления.

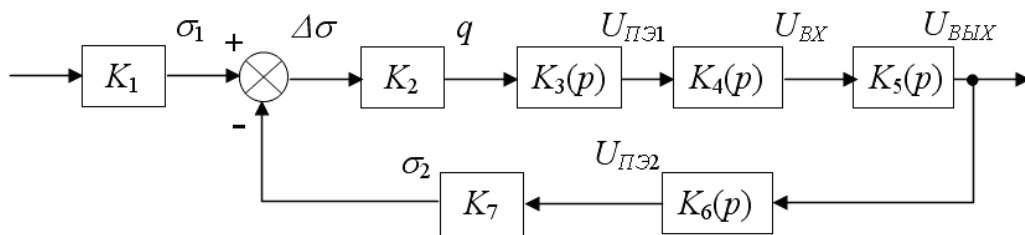


Рис. 4. Структурная схема пьезокерамического акселерометра

Однако, учитывая работу преобразователя в сравнительно узком частотном диапазоне (где существует линейная зависимость между входом и выходом – одно из необходимых свойств любой измерительной системы), передаточную характеристику можно считать линейной и равной коэффициенту усиления усилителя напряжения:

$$K_5 = K_{\dot{\sigma}i} \quad (7)$$

Звено $K_6(p)$ описывает процесс, обратный звену $K_4(p)$, происходящий при подведении напряжения от усилителя напряжения к дополнительному электроду пьезоэлемента (передача напряжения U_{BVIK} в напряжения между электродами пьезоэлемента U_{PIE2}).

$$K_6(p) = \frac{U_{I\dot{Y}_2}}{U_{\dot{A}\dot{\sigma}}} \quad (8)$$

Звено K_7 соответствует преобразованию напряжения U_{PIE} в механическое напряжение σ_2 . Так как $\sigma_2 = \frac{E_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}}d_{31}U_{I\dot{Y}_2}}{l}$, то

$$K_7 = \frac{\sigma_2}{U_{I\dot{Y}_2}} = \frac{E_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}}d_{31}}{l}, \quad (9)$$

где $E_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}}$ – модуль Юнга, l – расстояние между электродами.

Для экспериментальных исследований был изготовлен акселерометр с цилиндрическим пьезоэлементом из пьезокерамики ЦТС-19 с наружным диаметром 15, внутренним 4,5 и толщиной 5мм.

Усилители собраны на транзисторах КП 201Е-1, КП 304 с регулируемым коэффициентом усиления.

Описываемый поперечный акселерометр, несмотря на простоту конструкции, обладает нулевой боковой чувствительностью (рис. 5). Диаграмма направленности акселерометра снята на частоте 100Гц при ускорении вибрации $a = 1g$.

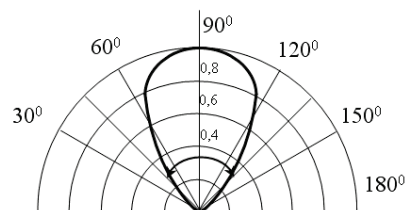


Рис. 5. Диаграмма направленности акселерометра

Применение отрицательной обратной связи позволило уменьшить температурную и временную нестабильность на 4-5 дБ, а также линеаризовать амплитудно-частотную характеристику в диапазоне частот до 200кГц (рис. 6). Температурная нестабильность определялась в диапазоне температур от 20 до 50°C.

Для анализа механических колебаний с помощью предлагаемого акселерометра могут быть использованы методики, описанные в [1, 2].

$U_{ВЫХ}$, В

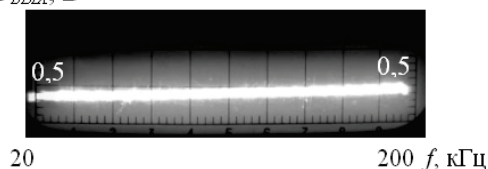


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика акселерометра с обратной связью

ВЫВОДЫ

1. Разработан и исследован поперечный акселерометр с обратной связью, обладающий линейной АЧХ, высокой температурной и временной стабильностью.
2. Дальнейшие исследования могут быть направлены на использование в акселерометрах двухконтурной обратной связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарапов В.М. Пьезокерамические преобразователи физических величин / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. – Черкассы: ЧГТУ, 2005. – 631с.
2. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632с.
3. Methods of synthesis of piezoceramic transducers: spatial energy force structure of piezoelement / V. Sharapov, Vladisauskas, K. Bazilo, L. Kunitskaya, Zh. Sotula. – Ultragarasas (Ultrasound). – Kaunas: Technologija, 2009. – №4(64). – P. 44-50. – ISSN 1392-2114.
4. Bгuel & Kjer. Краткий каталог. Дания: ДК-2850. – Нэрум, 1989/1990.
5. Патент України №17419. П'єзоелектричний акселерометр // Шарапов В.М., Плосконос М.Ю., та ін. / Мп. кл. G 01 P 15/09, 15.09.2006, бюл. №9.
6. Патент України №17436. П'єзоелектричний акселерометр // Шарапов В.М., Плосконос М.Ю., та ін. / Мп. кл. G 01 P 15/09, 15.09.2006, бюл. №9.
7. Шарапов В.М. Теория автоматического управления / В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, М.П. Мусиенко – Черкассы: ЧГТУ, 2005. – 200с.

ШАРАПОВ ВАЛЕРИЙ МИХАЙЛОВИЧ – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой компьютерных и информационных технологий в приборостроении, Черкасский государственный технологический университет, г.Черкассы, Украина, *E-mail:* v_sharapov@rambler.ru

ПЛОСКОНОС НИКОЛАЙ ЮРИЕВИЧ – ведущий инженер кафедры компьютерных и информационных технологий в приборостроении, Черкасский государственный технологический университет, г.Черкассы, Украина.