

Piezoelectric acceleration sensor with a charge amplifier
Gorinov I.
Пьезоэлектрический датчик ускорения с усилителем заряда
Горинов И. А.

*Горинов Иван Алексеевич / Gorinov Ivan – аспирант,
 кафедры интегральной электроники и микросистем, факультет электроники и компьютерных технологий,
 Национальный исследовательский университет
 Московский институт электронной техники, г. Москва*

Аннотация: в статье рассматривается чувствительный элемент в виде многослойного пьезопакета как альтернатива консольному пьезоэлементу для использования в пьезоэлектрических акселерометрах. Предлагается конструкция датчика, в котором роль чувствительного элемента выполняет подобный пьезопакет.

Abstract: the article deals with a sensitive element in the form of multilayer piezoelectric unit, as an alternative to the console piezoelement for use in piezoelectric accelerometers. Proposed sensor design, in which the role of the sensor performs a similar piezoelectric unit.

Ключевые слова: пьезокерамика, акселерометр, пьезоэлектрический датчик.

Keywords: piezoceramics, accelerometer, piezoelectric acceleration sensor.

В настоящее время, в различных областях науки и техники активно используются различные датчики и сенсоры. С их помощью становится возможным измерение различных физических величин, таких как: скорость, ускорение, температура, давление, усилие др. Принцип работы подобных устройств отличается друг от друга.

Немалую роль, также, играют и габаритные размеры датчика. Они могут составлять как единицы миллиметров, так и десятки метров.

Одним из наиболее часто используемых датчиков является акселерометр, т.е. датчик линейного ускорения. Под датчиком понимается устройство, преобразующее сигнал, несущий анализируемую информацию, в форму, удобную для её анализа.

Акселерометры различаются как по конструкции, так и по принципу действия. Основной составляющей частью такого датчика является чувствительный элемент (далее - ЧЭ). В данном случае рассматриваются подобные устройства, работающие на пьезоэффекте [1].

$$Q = d * F, \quad (1)$$

где F – сила, воздействующая на пьезоэлемент;

d – пьезомодуль;

Q – электрический заряд – реакция пьезоэлемента на силовое воздействие F.

Принцип работы рассматриваемых акселерометров состоит в следующем: при воздействии на пьезоэлемент (далее - п.э.) ускорением а, его некая эффективная масса m, будучи умноженной на а, создаст силу, эквивалентную силе F в уравнении (1), что приведёт к появлению на п.э. как на конденсаторе заряда Q. О величине а можно судить как по электрическому напряжению U, возникающему в этом случае между электродами п.э., так и по величине самого заряда Q, измеряемого с помощью усилителя заряда.

В конструкции рассматриваемого датчика роль ЧЭ выполняет консольно-закрепленный пьезоэлектрический биморф. Эта конструкция относится к изгибным датчикам, т.к. её деформация, при воздействии ускорения, перпендикулярна оси воздействия [2]. Такие датчики обладают высокой чувствительностью к измеряемому ускорению, а также большей выходной ёмкостью.

Принцип работы датчика выглядит следующим образом. При воздействии на ЧЭ ускорением, между электродами п.э., возникает разность потенциалов – электрическое напряжение, которое подаётся на вход усилителя напряжение. Входное сопротивление усилителя существенно больше выходного сопротивления ЧЭ, а напряжение на выходе усилителя пропорционально ускорению. По величине этого напряжения и судят о приложенном ускорении.

К основным недостаткам датчика следует отнести:

- существенно более низкий уровень вибро- и ударопрочности п.э., а с ним и ЧЭ, по сравнению с п.э., а с ним и ЧЭ осевого типа;
- ограничение диапазона рабочих частот сверху частотой до нескольких кГц;
- технологическое ограничение толщины биморфа приводит к ограничению возможностей уменьшения габаритов ЧЭ, а с ним и всего датчика.

Основным достоинством такого устройства является то, что оно, по сравнению с обычными осевыми ЧЭ, обладает значительно большей чувствительностью к ускорению.

Однако, датчики такого типа имеют и ряд недостатков: низкая вибро- и ударопрочность п.э., технологическое ограничение толщины биморфа и сравнительно низкий диапазон рабочих частот. Эти и другие недостатки сужают область их применения.

Альтернативой подобной конструкции может стать датчик, роль ЧЭ в котором выполняет пьезопакет. Он представляет собой п.э.-столбик [3], состоящий из спеченных между собой пьезоэлектрических пленок – элементарных п.э. с электродами, толщина которых может составлять 50 мкм и менее. Такой ЧЭ относится к осевым датчикам, причем ускорение действует одновременно на все пьезоэлектрические слои. Подобный датчик обладает улучшенными прочностными характеристиками, а также более высокими частотами механического резонанса, чем биморфный (изгибный). Для увеличения показателя чувствительности возможно использование инерционной массы (по необходимости). При воздействии на него измеряемым ускорением, на п.э. воздействует сила:

$$F = m * a, \quad (2)$$

где m – инерционная масса и суммарная с ней эффективная масса пьезоэлемента;

a – измеряемое воздействующее ускорение;

F – силовое воздействие.

В соответствии с выражением (1) на п.э. при таком воздействии на каждый элементарный п.э. образуется заряд Q , который создаст на его электродах разность потенциалов U пропорциональную a :

$$U = \frac{Q}{C}, \quad (3)$$

где C – ёмкость пьезоэлемента как конденсатора, обратно пропорциональная его толщине.

Силовое воздействие F приводит к генерации на ЧЭ заряда Q , не зависящего от ёмкости п.э., но зависящего от их количества. По величине выходного напряжения усилителя заряда судят об измеряемом ускорении.

К недостаткам такого устройства следует отнести:

- большие габариты, продиктованные необходимостью увеличения чувствительности ЧЭ к измеряемому ускорению по напряжению;

- сильную зависимость качества выходного сигнала от входных характеристик и параметров последующих электронных блоков вследствие большого выходного импеданса ЧЭ;

- отсутствие согласующего усиления.

Эти недостатки сильно снижают возможности дальнейшего совершенствования датчика, например, при необходимости его миниатюризации, а также в части повышения его чувствительности к измеряемому ускорению, как по напряжению, так и по заряду, т.к. для этого потребуются увеличение числа слоёв многослойного п.э., в то время как минимальная толщина слоев ограничена технологией изготовления п.э.

Предложенная конструкция датчика обладает также и достоинствами осевых (ударо- и вибропрочность, широкополосность, малым выходным импедансом) и изгибных п.э. (повышенная зарядовая чувствительность).

Как было описано выше, при использовании технологии литья пьезокерамической плёнки возможно достижение толщины слоёв п.э. до сотых долей мм, за счет чего уменьшается чувствительность по напряжению, но увеличивается чувствительность по заряду всего столбика. Эти две противоположные тенденции позволяют добиться улучшенных прочностных качеств и расширения диапазона рабочих частот в сторону высокочастотности, присущей осевым п.э., а также высокой зарядовой чувствительности и расширения диапазона рабочих частот в сторону низкочастотности, присущей изгибным п.э.

Литература

1. *Носова Н. С.* Конкурентная стратегия компании. М.: Юрайт, 2009. 256 с.
2. *Янчик В. В.* Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи. Ростов-на-Дону: изд. ЮФУ, 2010. 24 с.
3. Пьезоэлектрическая керамика: принципы и применение, пер. с англ. С. Н. Жукова. М.: ООО «ФУАинформ», 2003. 42 с.
4. *Храмцов А. М. и др.* Патент «Способ изготовления монолитных многослойных пьезокерамических элементов-столбиков».