

БИМОРФНЫЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АКСЕЛЕРОМЕТР

Шарапов В.М., д.т.н., профессор,

Туз В.В., к.т.н.,

Плосконос Н.Ю.

Черкасский государственный технологический университет

Стаття присвячена проблемам розробки п'єзоелектричних акселерометрів. Запропонована та досліджена конструкція біморфного п'єзоелектричного акселерометра. Побудована та досліджена модель біморфного акселерометра за допомогою пакета програми MicroCAP.

Ключові слова: акселерометр, біморфний п'єзоелемент, інтегральний ланцюжок.

Для измерения параметров вибрации применяются различные типы преобразователей [1]. Наиболее интересными и перспективными с точки зрения возможности реализации, простоты конструкции и электрической схемы, точности и стабильности представляются пьезоэлектрические преобразователи.

Биморфные пьезоэлектрические преобразователи состоят из двух частей – двух пьезоэлементов или пьезоэлемента и металлической пластины, соединенных между собой. Такие преобразователи обладают высокими характеристиками, среди которых высокая чувствительность.

Пьезоэлектрические акселерометры выполняются в виде сборных конструкций. Чувствительный элемент любого акселерометра состоит из пьезоэлемента, инерционной массы и упругого элемента. Чувствительный элемент обычно устанавливается в корпус, который, в свою очередь, может состоять из основания и крышки, встроенного усилителя и разъема для подсоединения кабеля [2].

Целью работы является расширение рабочего диапазона частот биморфного пьезоэлектрического акселерометра.

Эта цель в данной работе достигается тем, что пьезоэлемент акселерометра включается в интегрирующую цепь вместо емкостного элемента.

В интегрирующем RC-преобразователе, в отличие от дифференцирующего, выходное напряжение снимается не с сопротивления, а с емкости, как показано на рис. 1.

Уравнение напряжений в данном случае имеет следующий вид:

$$Ri + \frac{1}{C} \int idt = e_1 \quad (1)$$

The article is devoted to the piezoelectric accelerometers design problems. The bimorph piezoelectric accelerometer construction is suggested and investigated. With the use of MicroCAP program package the bimorph piezoelectric accelerometer model is constructed and investigated.

Key words: accelerometer, bimorph piezoelectric, integral chain.

Выходной величиной является напряжение на емкости

$$u_2 = \frac{1}{C} \int idt \quad (2)$$

откуда после дифференцирования находим ток

$$i = C \frac{du_2}{dt} \quad (3)$$

Подставляя это значение в исходное уравнение, будем иметь

$$RC \frac{du_2}{dt} + u_2 = e_1 \quad (4)$$

После интегрирования находим

$$u_2 = \frac{1}{RC} \int e_1 dt - \frac{1}{RC} \int u_2 dt \quad (5)$$

Полученное равенство говорит о том, что, как и при дифференцировании, в данном случае также существует методическая погрешность

$$Du_2 = -\frac{1}{RC} \int u_2 dt = -\frac{1}{\tau_1} \int u_2 dt \quad (6)$$

Из соотношения (6) видно, что погрешность интегрирования тем меньше, чем больше постоянная времени τ_1 , но при этом будет снижаться величина выходного напряжения u_2 , как это следует из равенства (5).

Найдем теперь связь эффекта интегрирования с частотой, для чего определим частотную характеристику рассматриваемого преобразователя. Перепишем для этой цели уравнение (4) в операторной форме:

$$(1 + pRC)u_2 = e_1 \quad (7)$$

Отсюда находим

$$S(p) = \frac{u_2}{e_1} = \frac{1}{1 + pRC} \quad (8)$$

Заменяя оператор на $j\omega$, находим комплексную чувствительность, являющуюся амплитудно-фазовой характеристикой

$$S(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (9)$$

Если $\omega RC \gg 1$, то

$$S(j\omega) \approx \frac{1}{j\omega RC} = \frac{1}{j\omega t_1} \quad (10)$$

Эти результаты показывают, что интегрирование тем точнее, чем больше постоянная времени и частота. При этом, как и при дифференцировании, требуется усиление выходной величины. При заданной постоянной времени точность интегрирования возрастает с увеличением частоты или быстроты изменения входной функции.

Зависимость амплитуды чувствительности от частоты показана на рис.2, где сопоставлены реальная кривая, соответствующая уравнению (9), и идеальная, описываемая равенством (10).

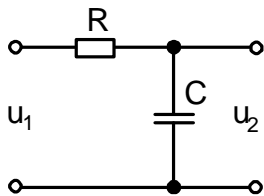


Рис. 1. Интегрирующий RC-преобразователь

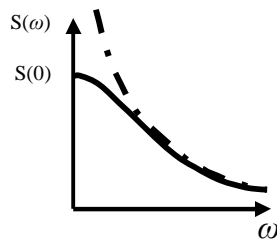


Рис. 2. Зависимость амплитуды чувствительности от частоты

Схема предлагаемого акселерометра показана на рис. 3. В качестве чувствительного элемента в акселерометре используется доменно-диссипативный пьезотрансформатор. Как известно, при равенстве площадей элементов и при одинаковом воздействии на пьезоэлемент, на электродах образуется одинаковые заряды. Между тем, емкость между электрода-

ми зависит от их расположения друг относительно друга. Так, емкость между электродами 4 и 9 $C_{4,9}$ значительно меньше емкости $C_{5,9}$, что приводит к тому, что напряжение на электродах 4-9 $U_{4,9}$ значительно больше напряжения $U_{5,9}$.

Для проведения эксперимента был изготовлен биморфный пьезоэлектрический акселерометр, который состоит из пьезоэлемента 1 из пьезокерамики ЦТС-19 с внешним диаметром 30 и толщиной 0,3мм. Металлическая пластина 2 выполнена из латуни Л63 диаметром 36 и толщиной 0,3мм. Верхняя и нижняя часть пьезоэлемента разделены на две равные части. К нижней части металлической пластины прикреплена инерционная масса 3. Electrodes верхней части 4 и 5 соединены резистором 6 (300 Ом), а электрод 9, нижней части пьезоэлемента, подключен к общему проводу схемы (рис. 3).

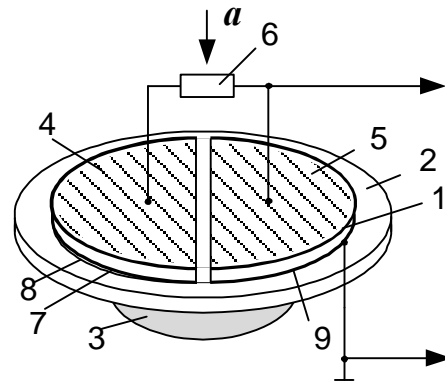


Рис. 3. Биморфный пьезоэлектрический акселерометр a – вектор ускорения;

1 – пьезоэлемент, 2 – металлическая пластина, 3 – инерционная масса, 4,5,7,9 – электроды пьезоэлемента, 6 – резистор, 8 – изоляционный слой

При воздействии ускорения a , на электродах пьезоэлемента генерируется электрический заряд, который зависит от площади электродов. Подключение резистора 6 создает интегрирующую цепочку(резистор 6 и емкость между электродами 5 и 9). При этом, регулируя сопротивление, мы управляем частотой среза, тем самым устанавливая необходимый рабочий диапазон частот.

Биморфный пьезоэлектрический акселерометр при данной схеме подключения имеет линейную амплитудно-частотную характеристику в диапазоне до 10 кГц и обладает высокой чувствительностью.

Компьютерное моделирование акселерометра проводилось с помощью программы MicroCAP, которая позволяет прогнозировать амплитудно-частотную характеристику датчика.

Эквивалентная схема акселерометра показана на рис. 4.

На эквивалентной схеме последовательный контур L1, C2, R2 соответствует динамическим параметрам биморфного пьезоэлемента. C1 межэлектродная емкость C_{5,9}. Электрическое напряжение на электроде 4 представлено генератором V1, R1 – сопротивление в схеме (рис. 3).

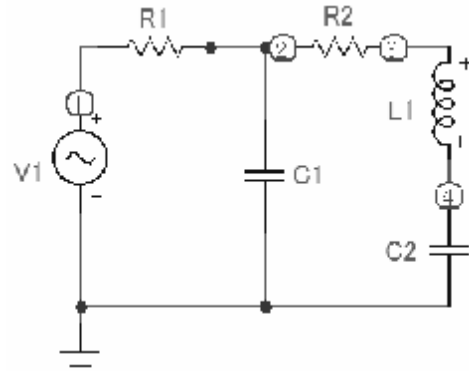


Рис. 4. Эквивалентная схема акселерометра

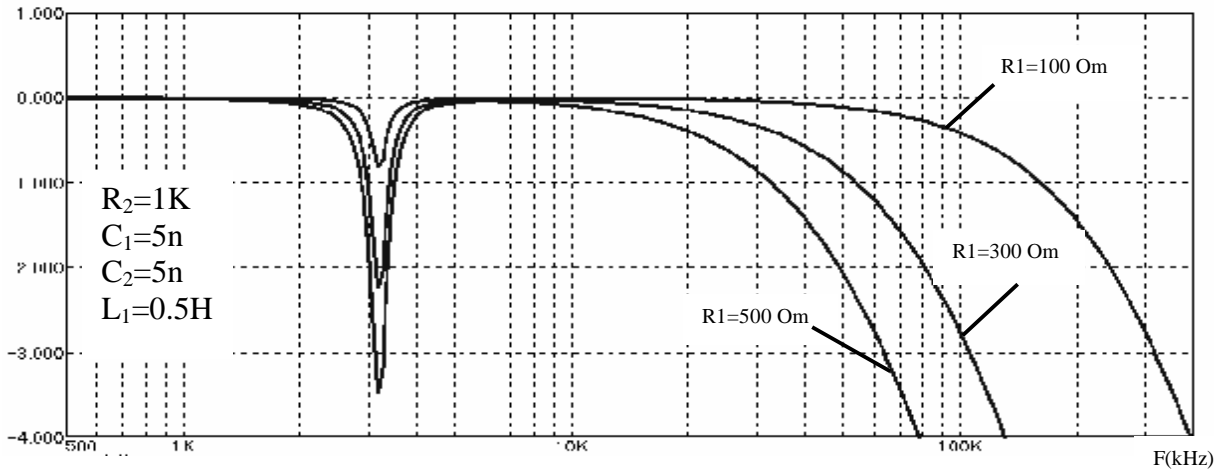


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика акселерометра при изменении сопротивления R1 при R2 = 1K, C1 = 5n, C2 = 5n, L1 = 0.5H

Результаты компьютерного моделирования при традиционном подключении акселерометра представлены на рис. 5, при доменно-диссипативном подключении рис. 6.

Как видно из рис. 7, 8 при изменении сопротивления R1 мы регулируем частоту среза, тем самым устанавливая нужный диапазон.

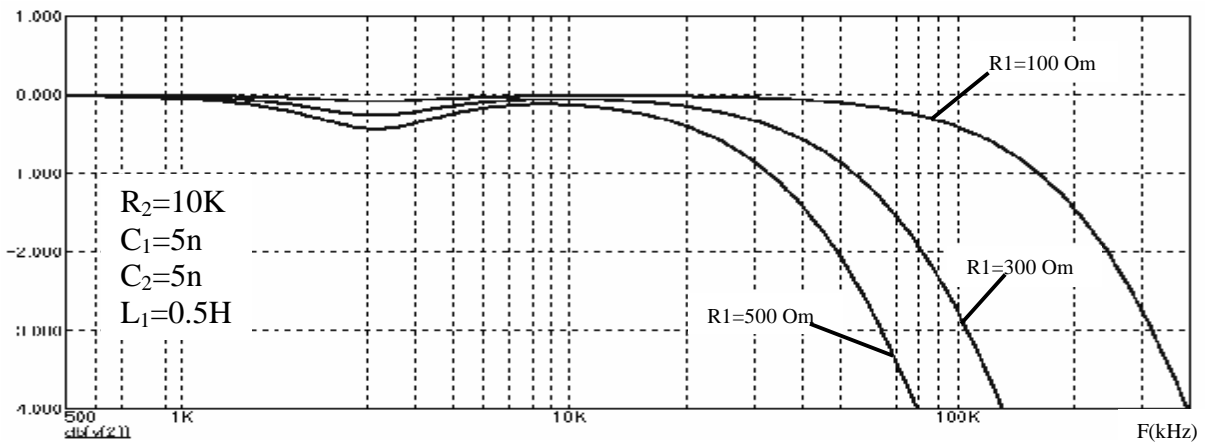


Рис.6. Амплитудно-частотная характеристика акселерометра при изменении сопротивления R1 при R2=10K, C1=5n, C2=5n, L1=0.5H

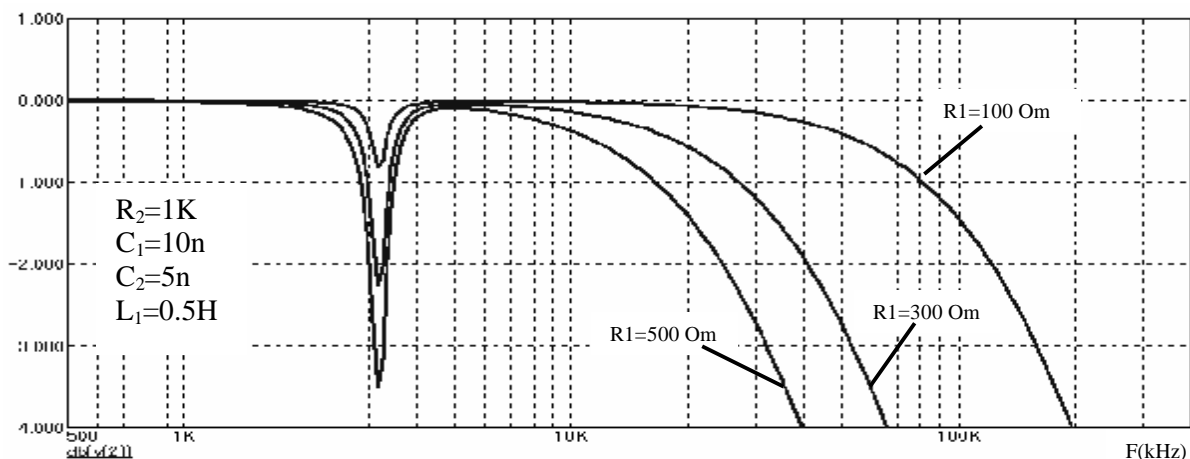


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика акселерометра при изменении сопротивления R_1 при $R_2=1K$, $C_1=10n$, $C_2=5n$, $L_1=0.5H$

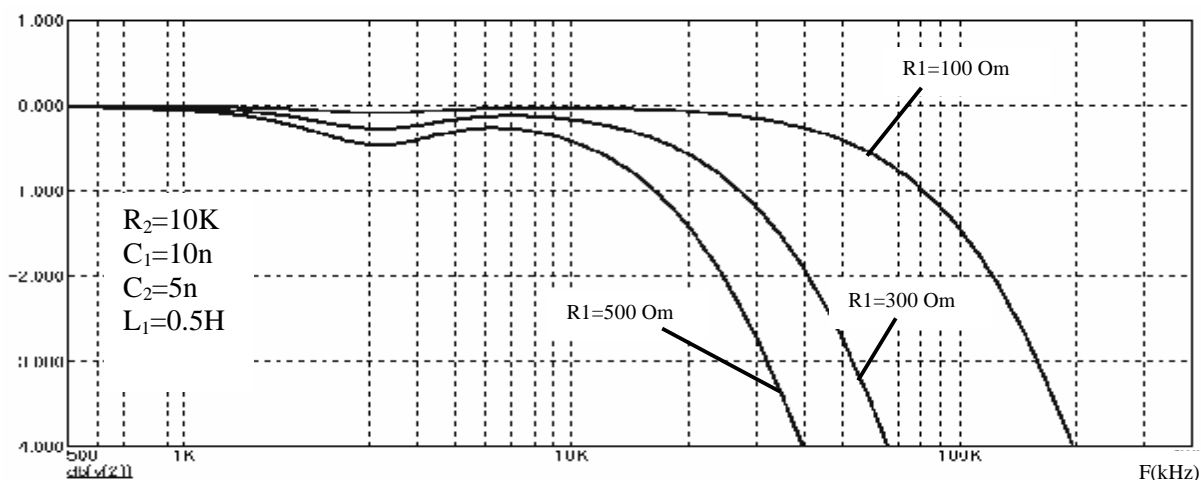


Рис. 8. Амплитудно-частотная характеристика акселерометра при изменении сопротивления R_1 при $R_2=10K$, $C_1=10n$, $C_2=5n$, $L_1=0.5H$

Выводы:

1. Разработан и исследован биморфный пьезоэлектрический акселерометр.
2. Создание в схеме акселерометра интегрирующей цепочки, позволило расширить рабочий диапазон частот акселерометра, при этом АЧХ остается линейной до 100 кГц и выше.
3. Разработана компьютерная модель, с помощью которой можно прогнозировать АЧХ акселерометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. – М.: «Техносфера», 2006. – 632 с.
2. Шарапов В.М. Датчики / В.М. Шарапов и др. // Под ред. В.М. Шарапова и Е.С. Полищука. Черкассы: Брама, 2008. – 1072 с.

3. Островский Л.А. Основы общей теории электроизмерительных устройств. – М.: «Энергия», 1971. – 543 с.
4. Шульга М.О., Карлаш В.Л. Резонансні електромеханічні коливання п'єзоелектричних пластин. – М.: «Наукова Книга», 2008. – 269 с.

Шарапов В.М., д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні Черкаського державного технологічного університету.

Туз В.В., к.т.н., старший викладач кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні Черкаського державного технологічного університету.

Плосконос М.Ю., провідний інженер кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні Черкаського державного технологічного університету.