

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ РЕШАТЕЛЯ «PIEZO»

В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, А.А. Воронков, Д.Е. Шумкова, М.В. Демьяненко
Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Бийск

Статья посвящена проверке адекватности пьезоэлектрического анализа методом конечных элементов при моделировании ультразвуковых колебательных систем. Совпадение результатов моделирования распределения амплитуды колебаний пьезоэлемента в виде диска с данными, полученными при измерении на стенде показывают правильность предложенного подхода.

Ключевые слова: модальный анализ, пьезоэлектрический анализ, пьезоэлемент, амплитуда колебаний.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при разработке ультразвукового оборудования широко применяются CAE-системы. В частности, для расчета и проектирования пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем используется модальный анализ, реализуемый применением пакета *Ansys Workbench*. Несмотря на все достоинства модального анализа, он имеет недостатки, обусловленные невозможностью задания ряда влияющих параметров и факторов. Во-первых, использование только таких параметров как модуль Юнга, коэффициент Пуассона и плотность материала составляющих ультразвуковой колебательной системы является недостаточным для расчета собственной резонансной частоты и распределения амплитуд механических колебаний. Во-вторых, система предназначена для расчета стандартных однопакетных преобразователей, что приводит при моделировании многопакетных и многоэлементных ультразвуковых колебательных систем к увеличению погрешности расчетов. В-третьих, не учитываются параметры пьезоэлектрических элементов ($[S_E]$, $[d]$, $[\epsilon_T/\epsilon_0]$). Таким образом, возникает необходимость поиска другого инструментария, который позволит устранить перечисленные недостатки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ возможностей современных CAE-систем позволил установить, что среди решателей пакета *Ansys Workbench* предлагается модуль «*piezo*», позволяющий учитывать взаимосвязь электрических и механических полей, то есть способный учитывать влияние пьезоэлектрических свойств материалов на параметры пьезоэлектрических преобразователей. Это позволяет исследовать распределения амплитуд колебаний различных конструкций пьезоэлектрических систем при приложении к ним электрических напряжений определенной частоты [1], [2].

Если адекватность ранее используемого модального анализа при моделировании ультразвуковых колебательных систем была рассмотрена в ряде работ [3], [4], то анализ систем при помощи модуля «*piezo*» ранее не производился, функциональные возможности не известны и требуют исследования.

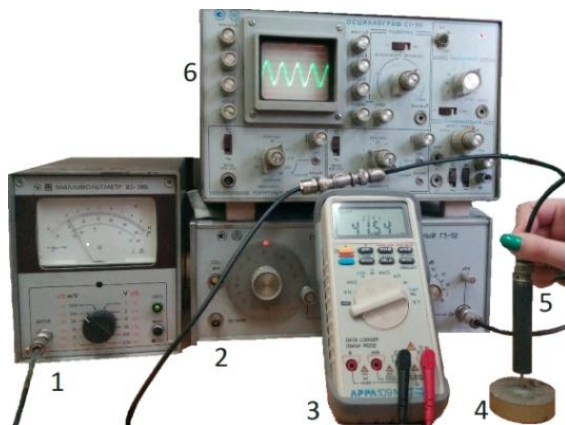
Решение поставленной задачи необходимо разбить на несколько этапов: моделирование отдельных пьезоэлементов; моделирование преобразователей Ланжевена, состоящих из нескольких пьезоэлементов между частотно-понижающими накладками; моделирование пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем в сборе (преобразователь Ланжевена, бустерное звено, концентратор, рабочий инструмент); моделирование пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем с приложенной акустической нагрузкой. Результаты реализации первого этапа посвящена данная статья.

Последовательность действий при использовании решателя «*piezo*» пакета *Ansys Workbench* заключается в следующем.

Первоначально создается твердотельная модель пьезоэлемента (например, при помощи CAD-систем). Затем, созданная модель экспортируется в решатель. Далее задаются пьезоматрицы, описывающие выбранный пьезоэлектрический материал, и направление поляризации. В завершении прикладываются потенциалы к положительному и отрицательному электродам и задается частота подаваемого напряжения.

Для моделирования был взят цилиндр диаметром 50 мм и высотой 15 мм, изготовленный из пьезоэлектрического материала ЦТС-19. Цилиндр поляризован по высоте.

С помощью стенда, приведенного на рис. 1, были измерены несколько резонансных частот рассматриваемого пьезоэлемента, которые составили 41410 Гц и 87590 Гц.



1 – милливольтметр; 2 – генератор; 3 – частотомер; 4 – пьезокерамика; 5 – пьезошуп; 6 – осциллограф

Рис. 1. Измерительный стенд

На рис. 2 и рис. 3 представлены результаты моделирования распределения амплитуд колебаний вдоль оси Z рассматриваемого пьезоэлемента, полученные при помощи решателя «piezo» пакета Ansys Workbench.

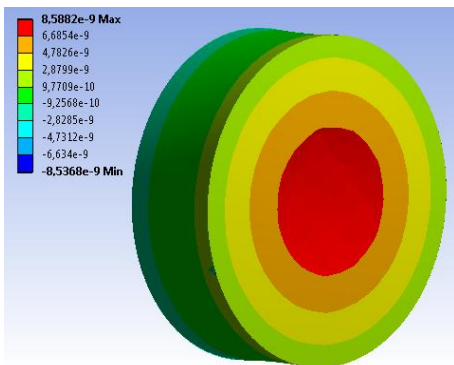


Рис. 2. Распределение на частоте 41410 Гц

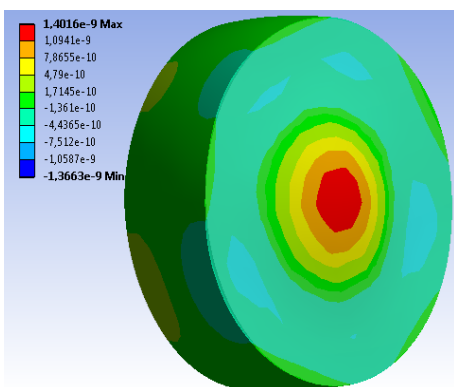


Рис. 3. Распределение на частоте 87590 Гц

Дополнительно при помощи стенда, приведенного на рис. 1, были измерены распределения амплитуд колебаний излучающих поверхностей пьезоэлемента на заданных частотах. Сравнительные нормированные графики приведены на рис. 4 – рис. 7. Пунктирной линией показаны результаты, полученные с измерительного стенда, а непрерывной – моделирование.

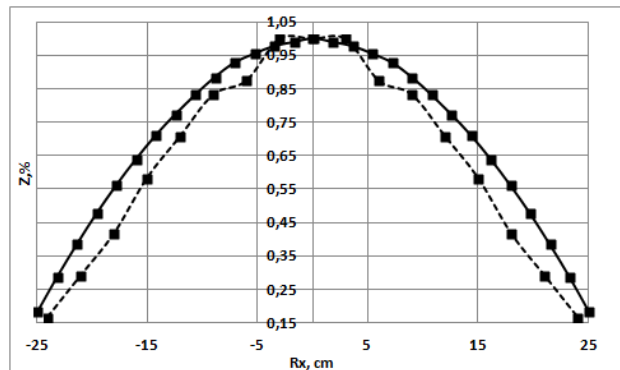


Рис. 4. Распределение амплитуд колебаний вдоль оси абсцисс на частоте 41410 Гц

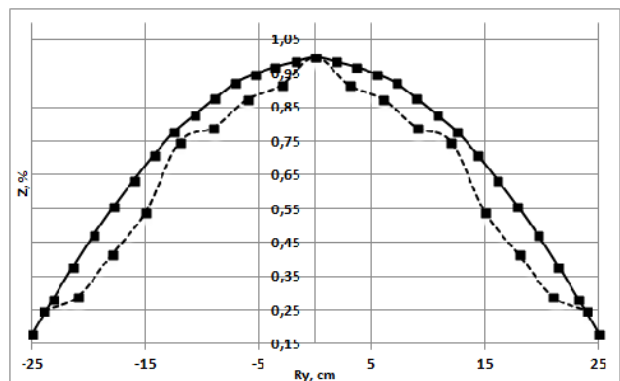


Рис. 5. Распределение амплитуд колебаний вдоль оси ординат на частоте 41410 Гц

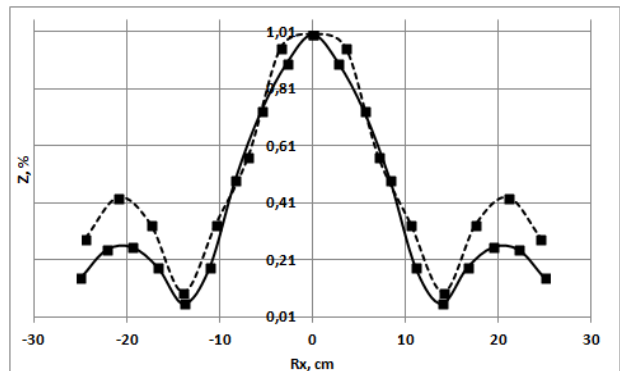


Рис. 6. Распределение амплитуд колебаний вдоль оси абсцисс на частоте 87590 Гц

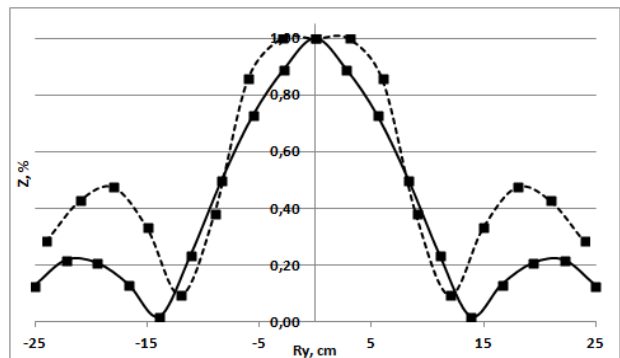


Рис. 7. Распределение амплитуд колебаний вдоль оси ординат на частоте 87590 Гц

При анализе кривых, приведенных на графиках, можно сделать вывод, что результаты моделирования и измеренные данные совпадают.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе решения поставленной задачи была рассмотрена возможность использования решателя «*piezo*» пакета *Ansys Workbench* для моделирования ультразвуковых колебательных систем. Доказана адекватность применения вышеуказанного решателя на примере моделирования распределения амплитуд пьезоэлемента при его возбуждении на заданных частотах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Piezoelectricity in ANSYS Mechanical, Say Goodbye to Command Snippets// ANSYSBlog – 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ansys-blog.com/piezoelectricity-ansys-mechanical-say-goodbye-command-snippets/> (дата обращения: 04.02.2015).
2. Митько В.Н. Колебания пьезоэлектрических тел конечных элементов: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: 2009. – 28 с.
3. Khmelev V.N. High power ultrasonic oscillatory systems / V.N. Khmelev, S.V. Levin, A.N. Lebedev, S.N. Tsyganok // 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials, EDM'07: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2007. – pp. 293–298.

4. Khmelev V.N. Designing and efficiency analysis of half-wave piezoelectric ultrasonic oscillatory systems / V.N. Khmelev, A.N. Lebedev, S.N. Tsyganok, R.V. Barsukov // 6th Annual International Siberian Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'05: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2005. – pp. 82–85.

Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., зам. Директора по научной работе, профессор кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Цыганок Сергей Николаевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432570, e-mail: grey@bti.secna.ru.

Воронков Александр Александрович – студент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432570, e-mail: alexandr1990@mail.ru.

Шумкова Дарья Евгеньевна – студент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432570, e-mail: shymkova_dasha@mail.ru.

Демьяненко Максим Васильевич – аспирант кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432570, e-mail: mcsidrom@gmail.com.

MODELING THE PIEZOELECTRIC ELEMENTS USING SOLVER «PIEZO»

V.N. Khmelev, S.N. Tsyganok, A.A. Voronkov, D.E. Shumkova, M.V. Demyanenko

Biysk Technological Institute, Polzunov Altai State Technical University, Biysk

Article is devoted to check of adequacy of the piezoelectric analysis by the finite-element method for simulation of ultrasonic vibrating systems. The coincidence of the simulation results the distribution of the vibration amplitude of the piezoelectric element in the form of a disk with the data obtained by measuring on the stand, show the correctness of the proposed approach.

Index terms: modal analysis, piezoelectric analysis, piezoelement, vibration amplitude.

REFERENCES

1. Senousy, Mohamed W., Piezoelectricity in ANSYS Mechanical, Say Goodbye to Command Snippets, accessed February 04, 2015, <http://www.ansys-blog.com/piezoelectricity-ansys-mechanical-say-goodbye-command-snippets>.
2. Mityok, V.N., Fluctuations of piezoelectric bodies of final elements, Rostov-on-Don, 2009.
3. Khmelev, V.N., Levin, S.V., Lebedev, A.N. and S.N. Tsyganok, "High power ultrasonic oscillatory systems," in *Proc. 8th Annual International Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials*, Novosibirsk, 2007, pp. 293–298.
4. Khmelev, V.N., Lebedev, A.N., Tsyganok, S.N. and R.V. Barsukov, "Designing and efficiency analysis of half-wave piezoelectric ultrasonic oscillatory systems," in *Proc. 6th Annual International Siberian Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials*, 2005, pp. 82–85.

Khmelev Vladimir Nikolaevich – doctor of engineering Science, deputy director for science, professor at the chair of methods and means of measuring and automation, Biysk Technological Institute, Russia, (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Tsyganok Sergey Nikolaevich – candidate of technical Sciences, assistant professor at the chair of methods and means of measuring and automation, Biysk Technological Institute, Russia, (3854)432581, e-mail: grey@bti.secna.ru.

Voronkov Alexander Alexandrovich – student of the Biysk Technological Institute, Russia, (3854)432581, e-mail: alexsandr1990@mail.ru.

Shumkova Darya Evgenyevna – student of the Biysk Technological Institute, Russia, (3854)432581, e-mail: shymkova_dasha@mail.ru.

Demyanenko Maxim Vasilyevich – graduate student at the chair of methods and means of measuring and automation, Biysk Technological Institute, Russia, (3854)432581, e-mail: mcsidrom@gmail.com.