

УДК 534.3

Особенности импедансных характеристик цилиндрического излучателя нулевого порядка, размещенного в замкнутом кольцевом слое

А.В. Коржик, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
проспект Победы, 37, Киев - 56, 03056, Украина.

Численно решена задача излучения для электроупругой модели цилиндрического гидроакустического пьезокерамического преобразователя, выполненного в виде тонкой пьезокерамической оболочки, которая полностью электродирована и размещена в упругом слое.

На примере типовых экранирующих материалов (пористые резины, пенопласты) исследованы импедансные характеристики и описаны особенности работы излучающей системы в коцевом слое. Библ. 7, рис. 5.

Ключевые слова: излучение звуковых волн, цилиндрическая оболочка, упругий переходной слой, импеданс излучения, поляризации заряды.

Введение

Предлагаемая работа является расчетным продолжением работ [1,2] и предполагает приведение некоторых результатов расчета, их анализ и обсуждение для определения особенностей процесса преобразования электрической энергии в акустическую в задачах стационарной гидроэлектроупругости.

Расчету подлежат импедансы излучения цилиндрического источника нулевого порядка, помещенного в упругий волновой слой в диапазоне частот для типовых экранирующих элементов – замкнутых кольцевых упругих слоев, выполненных из пористых резин и пенопластов.

Целью работы является уточнение особенностей указанного режима работы цилиндрического излучателя с использованием сквозной постановки и учетом взаимосвязи основных полей, принимающих участие в преобразовании электрической энергии в акустическую.

Условия проведения расчетов

По результатам решения сквозной задачи [1] с использованием среды САПР Matlab были проведены расчеты сопротивления (импеданса) излучения цилиндрического преобразователя, охваченного упругим кольцевым слоем.

При расчетах использованы типовые характеристики пьезокерамик, экранирующих пористых резин и пенопластов. Характеристики указанных материалов заимствованы из источников [3.4].

В соответствии с постановкой задачи [1] рассмотрен бесконечно длинный соосный набор пьезокерамических круговых колец, образующий круговую тонкостенную пьезокерамическую оболочку диаметром $d_{0s} = 2 \cdot R_{0s} = 135 \cdot 10^{-3}$ м (рис.1) с толщиной стенки $h_0 = 6$ мм, плотностью ρ_m кг/м³ и скоростью звука c_m м/с.

Внешняя поверхность оболочки обращена в волновой слой с толщиной $h_c = R_{1s} - R_{0s}$, плотностью ρ_c и скоростью звука c_c .

Критерием акустической жесткости слоя являлось отношение волновых сопротивлений слоя и окружающей рабочей среды:

$$m = \frac{\rho_c c_c}{\rho_m c_m}$$

При этом в каждой из расчетных ситуаций толщина слоя h_c определялась из соотношения [5]:

$$\frac{2 \cdot R_{0s}}{h_c} = \frac{d_{0s}}{R_{1s} - R_{0s}} = 2,8 \cdot \frac{c_c}{c} \quad (1)$$

Обозначения основных характеристик материалов соответствуют приведенным в работе [1], а искомые величины - записаны в виде:

- R_u безразмерная активная составляющая импеданса излучения:

$$R_u = \operatorname{Re} \left(\frac{Z_u}{1,5 \cdot 10^6} \right);$$

- X_u безразмерная реактивная составляющая импеданса излучения

$$X_u = \operatorname{Im} \left(\frac{Z_u}{1,5 \cdot 10^6} \right).$$

Диапазон частот, в котором производился расчет, составлял: $f \in [0; 20000]$ Гц.

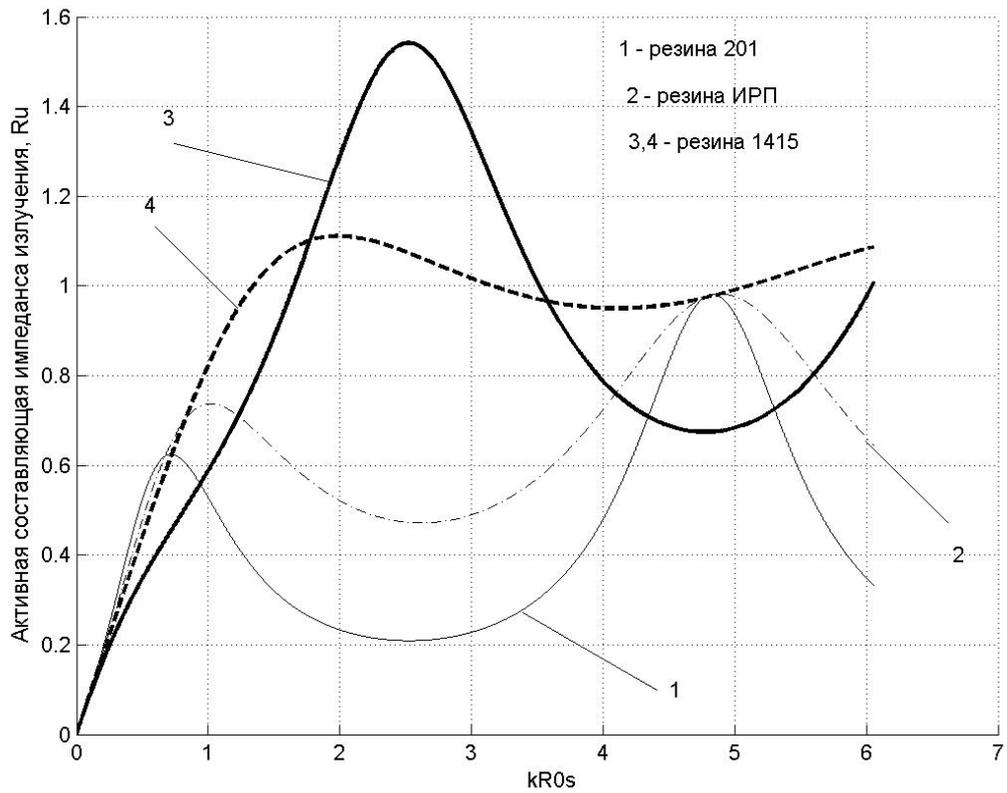


Рис. 2. Активная составляющая импеданса излучения (слой – экранные резины)

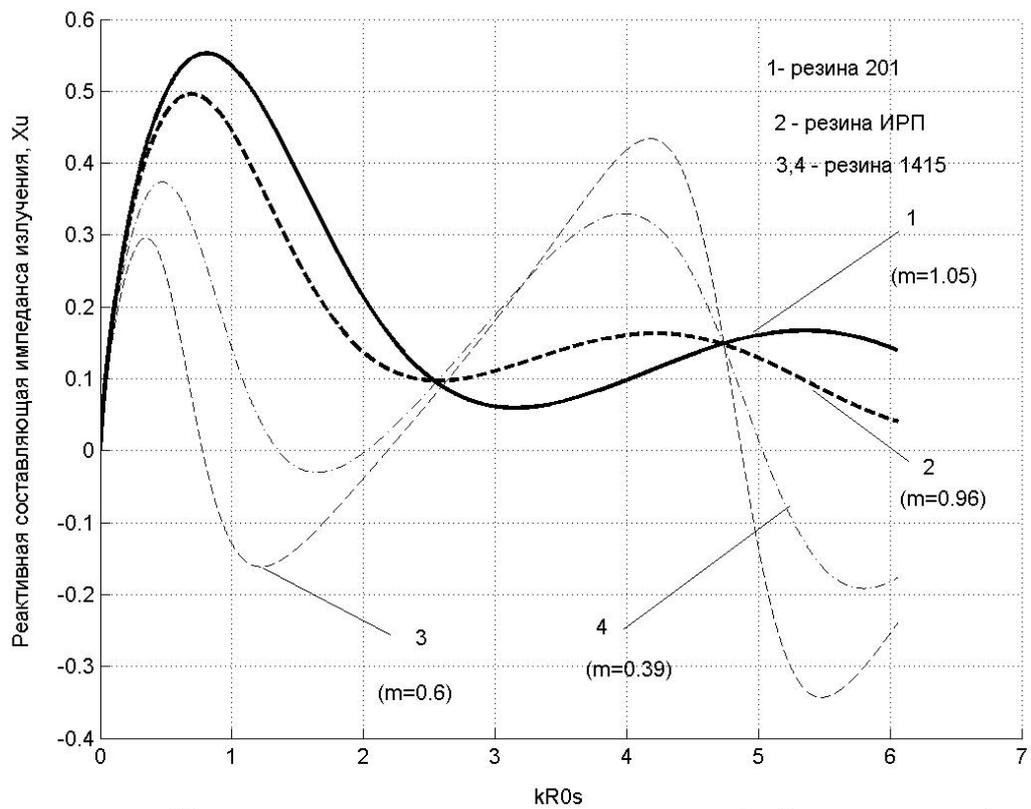


Рис. 3. Реактивная составляющая сопротивления излучения (слой – экранные резины)

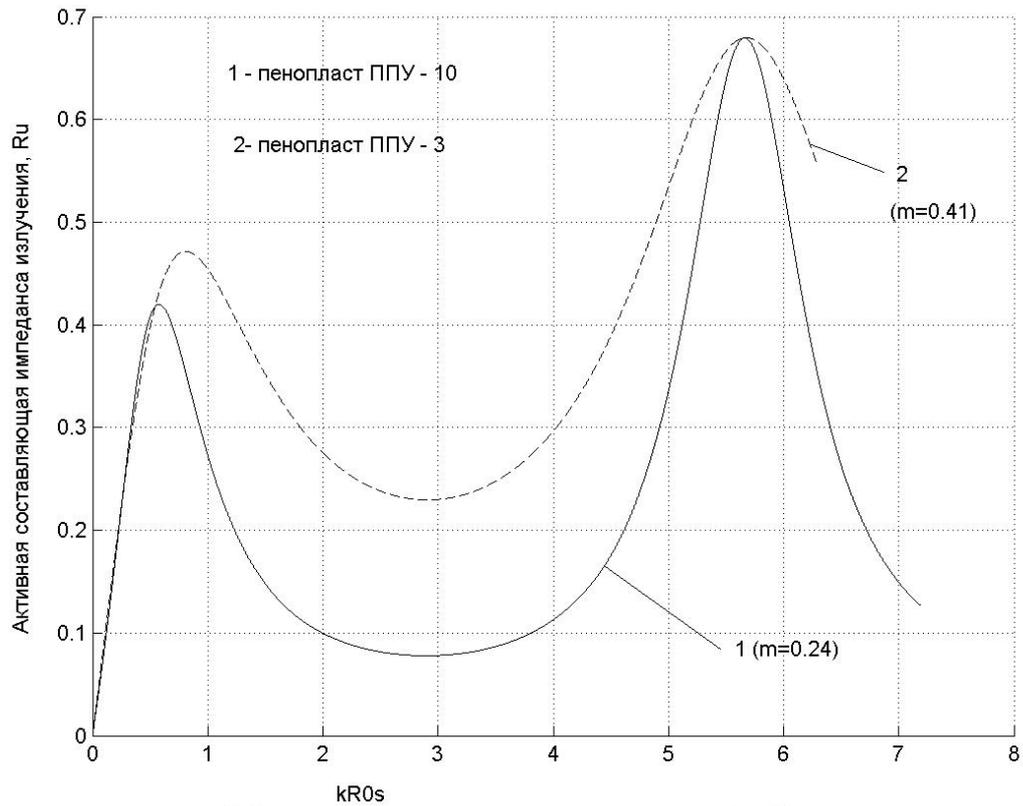


Рис. 4. Активная составляющая импеданса излучения (слой – пенопластины)

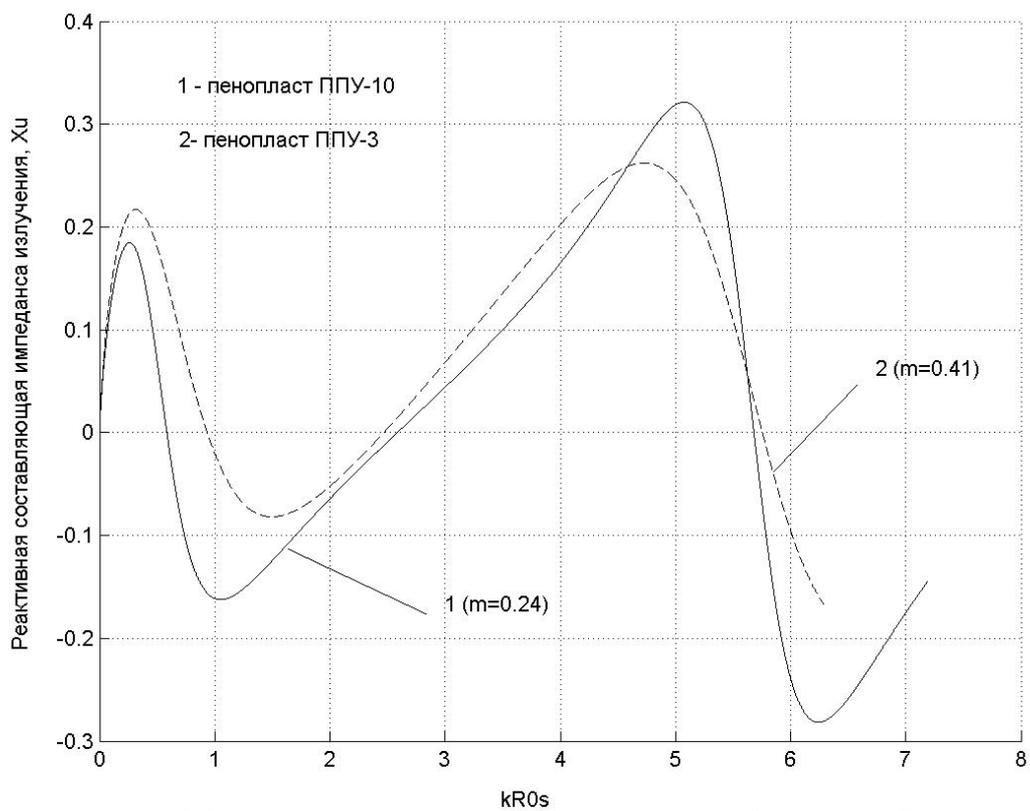


Рис. 5. Реактивная составляющая импеданса излучения (слой – пенопластины)

На примере пористых резин оценим ситуацию.

Для используемых кольцевых волновых слоев характер изменения X_U определяется не только волновой толщиной слоя, но и импедансом среды. Известно [7], что реактивная составляющая импеданса излучения безслоевого цилиндрического излучателя имеет характер массы. Таким образом, особенности импеданса излучения рассматриваемой системы определяются (в том числе) и присоединенной массой жидкости. Действительно, по мере приближения характеристик слоя к характеристикам рабочей среды (жидкости) – кривые 1 и 2 на рис 2 и рис. 3 демонстрируют стремление расчетных составляющих импеданса R_U и X_U - к классическим.

Результаты расчетов X_U для резин типа 1415 (кривые 3 и 4, рис. 3) демонстрируют рост осцилляций характеристики и возникновение ряда точек перехода через ноль, что соответствует многорезонансности системы. При этом резонанс в области $k_c R_{0s} = 0,82$ вызван взаимодействием упругости волнового слоя и присоединенной массы среды, окружающей систему. Это сопровождается возрастанием R_U (кривые 3 и 4, рис. 2) в указанной области значений $k_c R_{0s}$. Подобный эффект отмечен также в работе [5].

Анализ зависимости рис.4 показывает, что характер резонансов X_U различен. Так для рассмотренного диапазона значений $k_c R_{0s}$ ($k_c R_{0s} = 0 \div 8$) с привлечением кривых 3 и 4 для R_U (рис.2) заметим, что:

- первое значение $X_U = 0$ ($k_c R_{0s} = 0$) соответствует резонансу;
- второе нулевое значение X_U ($k_c R_{0s} = 0,82$) соответствует антирезонансу;
- третье нулевое значение X_U при $k_c R_{0s} = 2,2$ резонансу, а при $k_c R_{0s} = 4,8$ снова наступает антирезонанс.

Очевидно, чередование резонансов и антирезонансов в области больших $k_c R_{0s}$ должно соответствовать ситуации плоского слоя, как это было отмечено в [5].

При этом для рассмотренных значений $k_c R_{0s}$ характер составляющей X_U в диапазоне $k_c R_{0s} = 0 \div 2,2$ говорит о том, что система управляется массой, в диапазоне $k_c R_{0s} = 0,82 \div 2,2$ - упругостью, потом (в диапа-

зоне значений $k_c R_{0s} = 2,2 \div 4,8$) - снова принимает характер массы и так далее.

Схожей является ситуация и для пенопластов. При этом в силу отличия инерционных и упругих свойств отличны резонансные и антирезонансные частоты системы. Такое отличие незначительно в области нижних частот (до 5-8 %) и значительно для $k_c R_{0s}$, начиная с 4,2 (до 20 %).

Заметим, что с ростом значения параметра m , частоты, соответствующие антирезонансам (в области малых $k_c R_{0s}$) сдвигаются в область более высоких частот. Правда, это отмечено лишь для резин с малой плотностью.

Отметим, что для слоев, выполненных из рассмотренных резин и пенопластов отмечено неплохое совпадение значений частот резонанса системы с частотой резонанса пьезокерамического элемента (в нашем случае – с частотой резонанса нулевой моды цилиндрического кольца). Однако, частоты антирезонансов не совпадают с частотами собственных колебаний кольца (которые можно было бы отыскать, изменив, скажем, тип электродирования и возбуждения преобразователя).

Такое несовпадение характеризует рассматриваемую систему “кольцо – слой - среда” как систему с динамической саморегулировкой токового режима.

Изменение токового режима рассмотрим, используя результаты расчетов частот, определяющих переход через ноль функции X_U , а также выражение (2).

Для частот, соответствующих значениям $k_c R_{0s} = 0,82$ и $k_c R_{0s} = 4,8$, отношение $\frac{Q^e}{Q^*}$ стано-

вится равным 1 ($\frac{Q^e}{Q^*} = 1$) и выражение (2) обращается в ноль.

При этом поляризационные заряды Q^e полностью компенсируют заряд Q^* , а ток во внешней цепи I обращается в ноль. Это не предполагает исчезновение колебаний вообще, а говорит лишь о том, что ток смещения становится равным и противоположным по фазе току во внешней цепи.

Очевидно, использование иных материалов для переходных волновых слоев приведет к иным частотным зависимостям импедансных характеристик с сохранением указанных особенностей в рамках выбранной модели.

Это говорит о том, что изменение типа напряженно деформированного состояния системы вследствие использования переходной нагрузки в виде рассмотренного упругого кольцевого слоя (резина, пенопласт) обогащает ситуацию режима излучения, делая ее многорезонансной. При этом количество и тип ее резонансов определяется волновыми, инерциальными и упругими свойствами слоя, что в конечном итоге и обуславливает еще одно из проявлений взаимосвязи механического и электрического поля рассматриваемой колебательной системы.

Выводы

В результате численных исследований в работе получены следующие результаты :

- показана изменчивость резонансных и антирезонансных состояний колебательной системы “преобразователь – слой - среда” в зависимости от инерционных и упругих характеристик замкнутых волновых слоев;
- объяснены причины поведения рассмотренной колебательной системы как системы с динамической саморегулировкой токового режима;
- показана тенденция изменения основных резонансных частот рассмотренной колебательной системы при изменении волновых свойств материала слоя.

Литература

1. Коржик О.В. Випромінення звуку циліндричним електропружним джерелом нульового порядку, яке розміщено в замкнутому пружному шарі // Електроніка і зв'язь. № 5.- 2012. С.30-35.
2. Коржик А.В., Куроедова Т.С., Филиппова Н.Ю. Исследование электромеханических характеристик излучающего цилиндрического пьезокерамического преобразователя с полностью электродированной поверхностью, расположенного в замкнутом кольцевом слое // Електроніка і зв'язь. № 1. – 2013. С. 102-110
3. Подводные электроакустические преобразователи. Расчет и проектирование. Справочник/Под ред. В.В. Богородского – Л.: Судостроение, 1983. –248 с.
4. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (Розрахунок, проектування, конструювання): Навчальний посібник. – Кіровоград: “Імекс-ЛТД”, 2006. – 448 с.
5. Гринченко В.Т., Вовк И. В. Волновые задачи рассеяния звука на упругих оболочках. – К.: Наук.думка, 1986. – 240 с.
6. Петрищев О.Н. Гармонические колебания пьезокерамических элементов/ Часть 1. Гармонические колебания пьезокерамических элементов в вакууме и метод резонанса. – К.: Аверс, 2012. – 299 с.
7. Гринченко В.Т., Вовк И.В., Маципура В.Т. Основы акустики. – К.: Наукова думка, 2007. – 640 с.

УДК 534.3

Особливості імпедансних характеристик циліндричного випромінювача нульового порядку, який розміщено в замкнутому кільцевому шарі

О.В. Коржик, д-р техн. наук

Національний технічний університет України “ Київський політехнічний інститут”,
пр. Перемого, 37, Київ - 56, 03056, Україна.

Чисельно розв'язана задача випромінювання для електропружної моделі циліндричного гідроакустичного перетворювача, який виконано у вигляді тонкої п'єзокерамічної оболонки і яка є повністю електродованою та розміщена в пружному шарі.

На прикладі типових матеріалів екранування (гуми, пінопласти) досліджено імпедансні характеристики та описано особливості роботи випромінюючої системи в кільцевому шарі. Библ. 7, рис. 5.

Ключові слова *излучение звуковых волн, цилиндрическая оболочка, упругий переходной слой, импеданс излучения, поляризационные заряды.*

UDC 534.3

The impedance characteristics of 0-mode wave-stratum transducer

O.V. Korzhyk, Dr.Sc.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
pr. Peremogy, 37, Kyiv - 56, 03056, Ukraine.

The problem of sound radiating by piezoceramic cylindrical shell was solved for the full-electroded and wave-stratum cylindrical transducer. The some results of numerical investigation was determined and discussed in parts of active and reactive composition of acoustical impedance.

In result (for the typical shielding materials) was showed the impedance characteristics adjusted interaction acoustical, mechanical and electrical fields. **Bibl.7, fig. 5.**

Keywords: *cylindrical shell, hydroacoustic piezoceramic transducer, impedance characteristics, electrode.*

References

1. Korzhyk O.V. (2012), "The sound radiation by 0-mode cylindrical electroelastic wave-stratum source". Electronics and communications. No. 5. Pp. 30-35 (Ukr).
2. Korzhyk O.V., Kuroyedova T.S. (2013), "Filippova N.U., The investigation of electro-mechanics characteristics with full-electroded of cylindrical piezoceramics wave-stratum transducer". Electronics and communications. No. 1. Pp. 102-110 (Rus).
3. Bogorodsky V.V. (1983), "Underwater electroacoustic transducers". L: Sudostroenie. P. 248. (Rus)
4. Didkovsky V.S., Leyko O.G., Savin V.G. (2006), "Electroacoustical piezoceramics transducers (Calculation, design): Study book". Kyrovograd: "Imeks-LTD", p. 448.(Rus)
5. Grinchenko V.T., Vovk I.V. (1986), "The waves-tasks of sound scattering by elastic shells". Kiyv. Naukova dumka, p. 240. (Rus)
6. Petrishev O.N. (2012), "Garmonic oscillations of piezoelectric elements/ Part 1. Garmonic oscillations of piezoelectric elements in vacuum and "resonance-atiresonance" method". Kyiv, AVERS. P. 299. (Rus).
7. Grinchenko V.T., Vovk I.V., Matsipura B.T. (2007), "The principles of acoustics". Kiyv. Naukova dumka, p. 640.(Ukr)

Поступила в редакцию 23 мая 2013 г