

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЭЛЕКТРОДНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОТРАНСФОРМАТОРА

Шарапов В.М., д.т.н., профессор,
Романенко Д.Е.

Черкасский государственный технологический университет

Стаття присвячена проблемам проектування циліндричних п'єзокерамічних трансформаторів. Розроблені схеми підключення циліндричних п'єзокерамічних трансформаторів, які дозволили вивчити їх динамічні характеристики.

Ключові слова: п'єзотрансформатор, динамічні характеристики, циліндричних п'єзокерамічних.

Пьезокерамические преобразователи применяются для измерения различных физических величин (силы, давления, параметров вибрации, звуковых полей и др.) в гидроакустике, измерительной, испытательной технике, медицине и в других областях [1].

Известный эффект изменения характеристик пьезоэлементов при изменении пространственной энергосиловой структуры может быть использован в двух типах преобразователей:

- в преобразователях электрического напряжения одного уровня в напряжение другого уровня – пьезотрансформаторах;
- в датчиках механических величин на прямом пьезоэффекте [1, 2].

Изучение пьезотрансформаторов представляют интерес, т.к. схема пьезотрансформатора очень удобна для определения внутренних, т.е. свойственных только данному объекту (пьезоэлементу) свойств (характеристик).

На основе пьезотрансформаторов могут быть построены также датчики механических величин.

Кроме того, пьезотрансформаторы могут использоваться для создания сумматоров и амплитудных модуляторов и на этой основе гидроакустических преобразователей с пониженной рабочей частотой [1].

Гидроакустический преобразователь представляет колебательную систему, работающую в широком диапазоне частот от сотен Гц до нескольких МГц. Это обуславливает необходимость подбора гидроакустических преобразователей по способам преобразования энергии, форме колебаний и типам конструкций. Наиболее эффективным и часто используемым преобразователем являются цилиндрические преобразователи, однако их динами-

The article is devoted to the problems of cylindrical piezoelectric ceramic transformers design. The cylindrical piezoelectric ceramic transformer connection schemes, that allowed to investigate their dynamic characteristics, are developed.

Key words: piezoelectric transformer, dynamic behavior, cylindrical, piezoceramic.

ческие характеристики исследованы недостаточно, что и является **целью** данной работы.

Объект в виде кругового цилиндра представляется не только чрезвычайно удобной для приложений математического аппарата канонической областью, но и широко применяется как активный элемент электромеханических преобразователей. Этим объясняется интерес к исследованию колебаний цилиндрических тел [4].

Решение задачи о вынужденных колебаниях радиально поляризованного цилиндра при электрическом нагружении и однородных условиях на торцах сводится к решению бесконечной последовательности систем обыкновенных дифференциальных уравнений [3]:

$$\begin{aligned} \frac{du_z^{(n)}}{dr} &= -x_n u_r^{(n)} + \frac{1}{c_{55}^E} (s_{rz}^{(n)} - x_n e_{13} j^{(n)}), \\ \frac{ds_{rr}^{(n)}}{dr} &= -\frac{1}{r} x_n \left(c_{12}^E + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \right) u_z^{(n)} - \frac{1}{r} \left(1 - \frac{\Delta_4}{\Delta_1} \right) s_{rr}^{(n)} + \\ &+ x_n s_{rz}^{(n)} - \left[r w^2 - \frac{1}{r^2} \left(c_{11}^E + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \right) \right] u_r^{(n)} + \frac{1}{r} \frac{\Delta_3}{\Delta_1} D_r^{(n)}, \\ \frac{ds_{rz}^{(n)}}{dr} &= \left[-r w^2 + x_n^2 \left(c_{11}^E + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \right) \right] u_z^{(n)} - x_n \frac{\Delta_4}{\Delta_1} s_{rr}^{(n)} - \\ &- \frac{1}{r} s_{rz}^{(n)} - \frac{x_r}{r} \left(c_{12}^E + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \right) u_r^{(n)} - x_n \frac{\Delta_3}{\Delta_1} D_r^{(n)}, \\ \frac{du_r^{(n)}}{dr} &= \frac{1}{\Delta_1} \left(x_n \Delta_4 u_z^{(n)} + e_{33}^S s_{rr}^{(n)} - \frac{\Delta_4}{r} u_r^{(n)} + e_{33} D_r^{(n)} \right) \\ \frac{dj^{(n)}}{dr} &= \frac{1}{\Delta_1} \left(x_n \Delta_3 u_z^{(n)} + e_{33} s_{rr}^{(n)} - \frac{\Delta_3}{r} u_r^{(n)} - c_{33}^E D_r^{(n)} \right) \\ \frac{dD_r^{(n)}}{dr} &= \frac{x_r}{c_{55}^E} \left(e_{15} s_{rz}^{(n)} - x_n^2 \Delta_5 j^{(n)} \right) - \frac{1}{r} D_r^{(n)} \quad (1) \end{aligned}$$

с краевыми условиями [3]

$$j^{(n)}|_{r_0 \pm h} = \pm \frac{2V_0}{np}, [s_{rr}^{(n)}(r) = s_{rz}^{(n)}(r)]|_{r_0 \pm h} = 0. \quad (2)$$

Определим далее экспериментально динамические характеристики цилиндрического преобразователя, показанного на рис. 1. Как известно, динамическими называют такие характеристики, которые проявляются лишь при работе преобразователя в динамическом режиме, т.е., когда преобразуемая величина является функцией времени (процессом). Эти параметры характеризуют внутренние (собственные) свойства преобразователей.

Для определения динамических характеристик пьезотрансформаторов обычно используется режим холостого хода. На вход пьезотрансформатора подается сигнал от тест-генератора с малым выходным сопротивлением, а выходной сигнал пьезотрансформатора регистрируется индикатором с большим входным сопротивлением.

Ранее считалось, что характеристики, определенные таким образом, являются единственными и неповторимыми и однозначно характеризуют пьезотрансформатор (пьезоэлемент, датчик) [2].

Для снятия динамических характеристик был использован пьезотрансформатор, который изготовлен из пьезокерамики ЦТС-19 в виде цилиндра с внешним диаметром 32, внутренним диаметром 28 и высотой 20 мм. Пьезоэлемент поляризован радиально. Внутренний и внешний электроды пьезоэлемента были разделены на 4 равные части. Конструкция цилиндрического пьезотрансформатора показана на рис. 1.

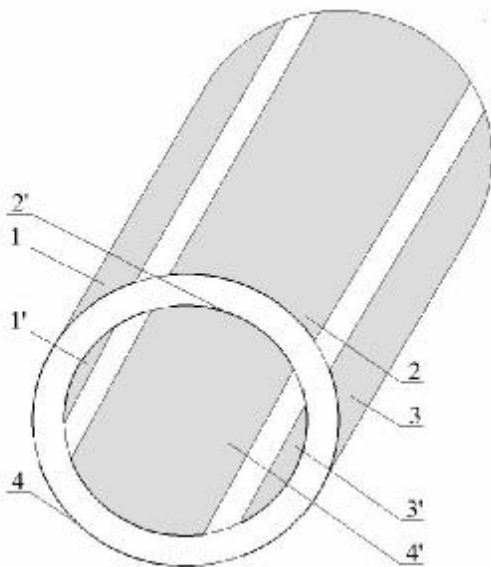


Рис. 1. Конструкция полиэлектродного цилиндрического пьезотрансформатора: 1, 1', 2, 2', 3, 3', 4, 4' – электроды

Для снятия амплитудно-частотных характеристик использовался прибор для исследования АЧХ Х1-46. Для снятия переходных характеристик были использованы генератор сигналов низкочастотный ГЗ-106 и осциллограф С1-55. Измерения проводились в диапазоне от 2 до 200 кГц.

Система подключений цилиндрического пьезотрансформатора представлении в табл. 1.

Таблица 1

№ схемы подключения	Электроды	
	Генератор	Измерительный прибор
1	1-1'	4-4'
2	1-1'	3-3'
3	1-1'	3-1'
4	1-1'	4-1'
5	3-1'	1-1'
6	4-1'	1-1'
7	2-1'	4-1'
8	1'-2	2'-2

На рис. 2 показаны экспериментальные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) цилиндрического пьезотрансформатора.

Измерения АЧХ проводились с помощью прибора для исследования АЧХ Х1-46, а фотографирование АЧХ производилось цифровой камерой «Nikon-D90».

Для традиционной схемы подключения цилиндрического преобразователя характерно наличие нескольких пиков на амплитудно-частотной характеристике (рис. 2, а, б). Как видно из рис. 2, б, при традиционном подключении противоположных электродов величина коэффициента трансформации первого пика остается той же, а величина коэффициента трансформации второго пика в несколько раз больше. Это означает, что при традиционном подключении разных пар электродов величина радиальных колебаний пьезоэлемента не меняется в отличие от величины амплитудных колебаний пьезоэлемента по длине.

При доменно-диссипативной схеме подключения выходного сигнала резонансы частично подавлены (рис. 2, в, г).

При доменно-диссипативной схеме подключения входного сигнала (рис. 2, д, е) характерно наличие одного пика на амплитудно-частотной характеристике.

При доменно-диссипативной схеме подключения входного и выходного сигнала происходит возрастание величины коэффициента трансформации в дорезонансной области, а также линеаризация амплитудно-частотной характеристики. Наиболее ярко это выражено на рис. 2, з.

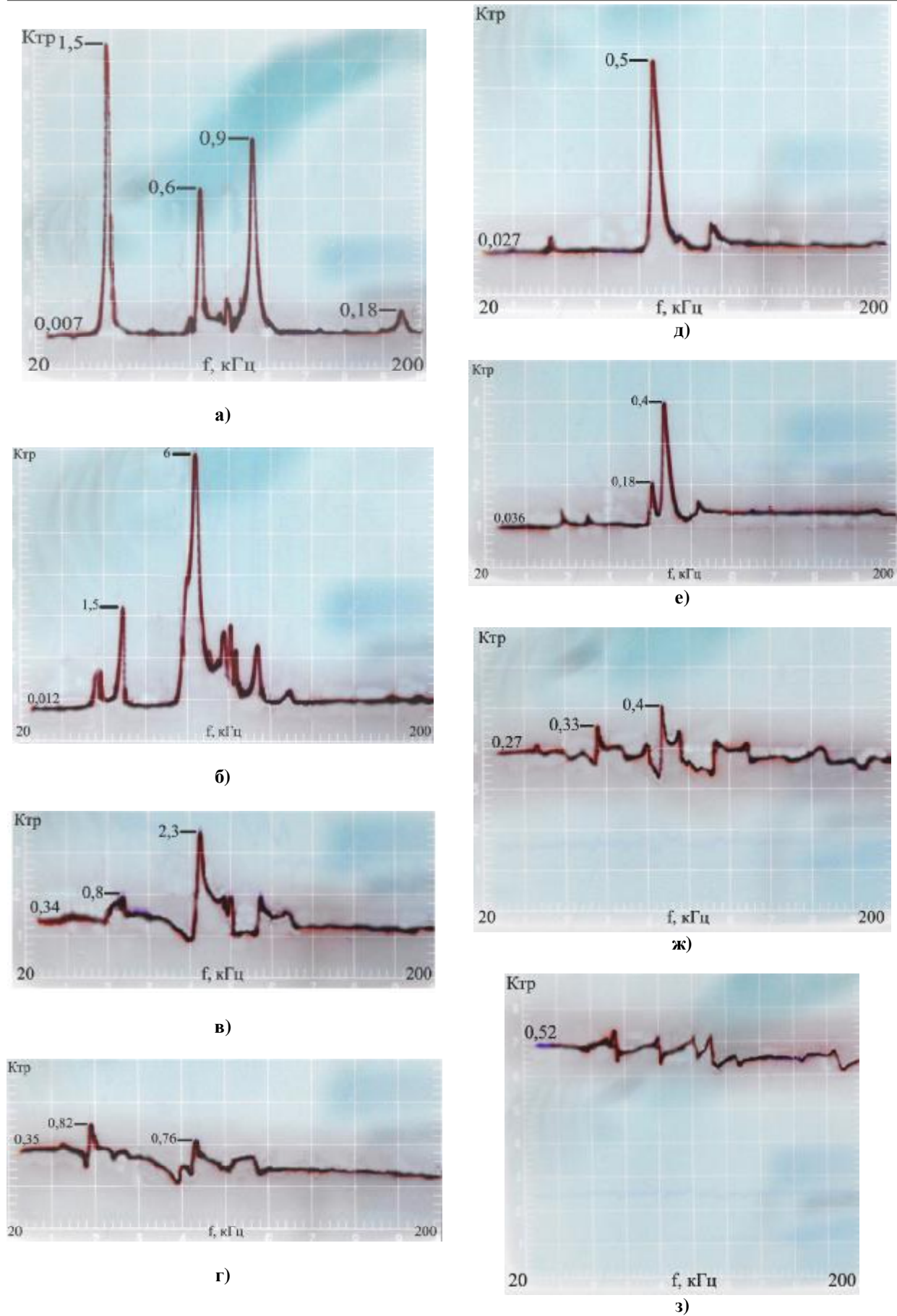


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики цилиндрического пьезотрансформатора
 а) схема 1; б) схема 2; в) схема 3; г) схема 4; д) схема 5; е) схема 6; ж) схема 7; з) схема 8

На рис. 3 показаны переходные характеристики цилиндрического пьезотрансформатора. Измерения проводились при воздействии на преобразователь электрического напряжения в форме меандра ($f = 500$ Гц, $U = 3$ В) по-

даваемого генератором сигналов низкочастотным ГЗ-106. Снятие переходных характеристик проводилось при помощи осциллографа С1-55. Фотографирование проводилось цифровой камерой «Nikon-D90».

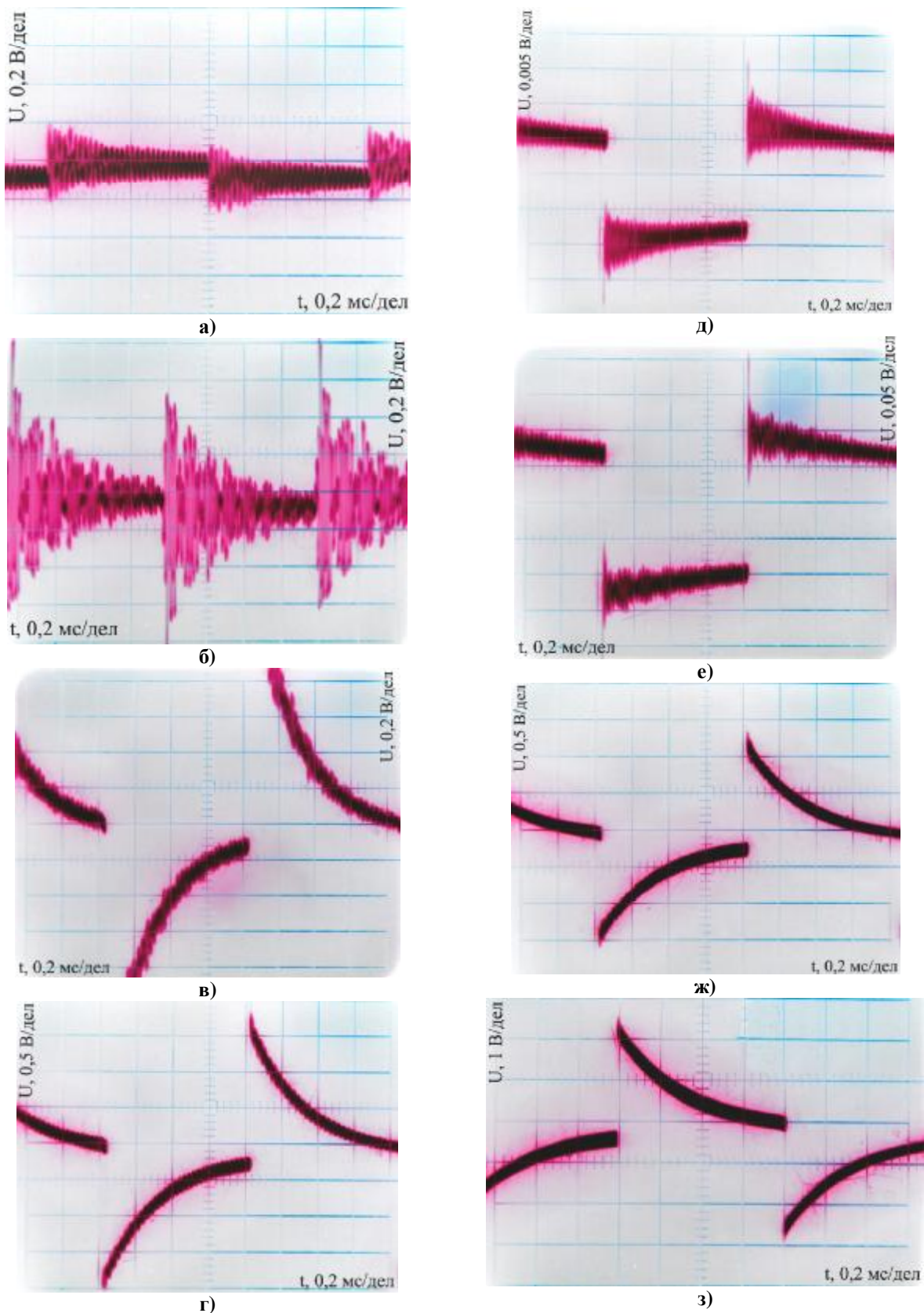


Рис. 3. Переходные характеристики цилиндрического пьезотрансформатора
 а) схема 1; б) схема 2; в) схема 3; г) схема 4; д) схема 5; е) схема 6; ж) схема 7; з) схема 8

Выводы:

1. Расположение электродов на цилиндрическом пьезоэлементе, а также схема их подключения существенным образом влияют на динамические характеристики пьезотрансформатора.
2. Как видно из рис. 2, для традиционной схемы подключения цилиндрического преобразователя характерно наличие нескольких пиков на амплитудно-частотной характеристике (рис. 2, а, б), соответствующих резонансным колебаниям по радиусу и длине цилиндра, а также их обертонам. При доменно-диссипативной схеме подключения выходного сигнала эти резонансы частично подавлены (рис. 2, в, г).
3. Коэффициент передачи (чувствительность) в низкочастотной области для всех схем подключения электродов цилиндрического преобразователя выше, чем для традиционного.
4. Переходные характеристики имеют колебательные свойства (рис. 3, б). На рис. 3 в, г, ж, з колебательные свойства подавлены и ярко выражены дифференцирующие свойства.
5. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение динамических характеристик для схем с другими вариантами расположения электродов.

6. Указанные пьезотрансформаторы могут быть использованы при проектировании гидроакустических преобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
2. Sharapov V., Vladisauskas A., Bazilo K., Kunit-skaya L., Sotula Zh. Methods of synthesis of piezoceramic transducers : spatial energy force structure of piezoelement, Ultrasound, vol. 64, № 4, 2009.
3. Шульга Н.А., Болкисев А.М. Колебания пьезоэлектрических тел. – Киев: Наукова думка, 1990. – 228 с.
4. Справочник по гидроакустике / Под ред. А.Е. Колесникова – Л.: Судостроение, 1982. – 340 с.

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

Романенко Д.Є., аспірант кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні Черкаського державного технологічного університету.