

УДК 53.043

DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-28-34

Основные положения методики оценки эффективности пьезопреобразователей

Ф. М. Аль-Руфай, аспирант, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

В. В. Кувшинов, кандидат технических наук, доцент, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

Пьезоэлементы являются одним из источников альтернативной энергии, на производство которой не требуется использование ископаемых топлив, наносящих ущерб окружающей среде и климату планеты. В связи с этим расширение областей применения пьезоэлементов происходит с каждым годом все интенсивнее. Особенно востребованными являются конструкции пьезоэлементов, которые способны вырабатывать электроэнергию в результате внешних механических воздействий. Эта востребованность обусловлена возможностью работы от получаемой электроэнергии важнейших навигационных приборов, смартфонов, низковольтных зарядных устройств в условиях отсутствия внешних источников электроэнергии или высокой ее стоимостью при выработке другими методами.

В связи с тем что пьезоэлементы обладают рядом специфических свойств, обусловленных кристаллической структурой, формой, размерами, электрическими характеристиками, необходимо разработать условия выбора этих устройств, руководствуясь наиболее рациональным подходом, основанным на экономической целесообразности, рыночной доступности и оптимальной технологичности.

В настоящее время на российском рынке, несмотря на многочисленные экономические санкции, представлен широкий спектр моделей пьезоэлементов, способный удовлетворить любые запросы клиентов. Выбор наиболее эффективной модели является важнейшей задачей для компаний, которые используют пьезоэлементы как отдельный компонент в составе выпускаемых серийно электронных устройств. Методика выбора такой продукции отсутствует, однако может быть весьма востребована ввиду большого объема предложений поставщиков. Предлагаемая к реализации методика предусматривает моделирование пьезоэлемента в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации, оценку свойств и разработку рекомендаций к применению на основании вариации основных размеров (длина, толщина), а также приложенного напряжения, заложенного в разработанную модель, и анализа влияния на перемещение конца пьезоэлемента, что является основной характеристикой пьезоэлемента в условиях рассмотренной схемы. По результатам моделирования выбираются наиболее приемлемые модели пьезоэлемента.

Ключевые слова: пьезоэлектрический эффект, многослойный пьезоактуатор, условия эксплуатации, MatLab, перемещение, пьезоэлемент.

Введение

В настоящее время для сбора энергии вибрации в окружающей среде существует три типа устройств сбора энергии, такие как электромагнитные, электростатические и пьезоэлектрические устройства. Основным механизмом сбора энергии электромагнитных колебаний является электромагнитная индукция закона Фарадея. Под действием внешней вибрации относительное движение между индукционной катушкой и вибрация магнитов, вызванная изменением магнитных потоков, приводит к образованию наведенного напряжения [1, 2]. Однако сбор энергии электромагнитных колебаний за счет большей выходной мощности и отказа от дополнительного источника питания трудно совместить с современной тех-

нологией промышленного производства с более высоким выходным напряжением из-за развивающейся тенденции к миниатюризации устройств [3]. Сбор энергии электростатических колебаний в основном формирует разность потенциалов над пластиной конденсатора для генерирования стабильного напряжения при внешнем питании [4], и заряды будут формироваться за счет изменения емкости между пластинами электродов. Устройство совместимо с технологией микроэлектромеханических систем с высокой выходной мощностью и напряжением, особенно по сравнению со сбором энергии электромагнитной вибрации, более высокое выходное напряжение может быть достигнуто при том же размере; однако проблема заключается в необходимости дополнительной

мощности [5, 6]. Из-за электростатических и электромагнитных колебаний для сбора энергии требуется дополнительная электроэнергия, что ограничивает разработку и применение устройств, поэтому системы сбора пьезоэлектрической энергии становятся все более значимыми и привлекают большое внимание ученых и специалистов.

Наиболее рациональным с точки зрения анализа большого объема данных о свойствах пьезоэлементов является проведение моделирования процессов эксплуатации этих устройств и выделение проблем и перспектив, которые могут быть присущи каждой модели [7].

Используя положительный пьезоэлектрический эффект, пьезоэлемент преобразует бесполезную механическую энергию в электрическую, а внутренняя поляризация генерируется из деформированных пьезоэлектрических материалов под действием внешней силы. Устройство легкосовместимо с технологией процесса MEMS, демонстрируя преимущества адаптации к окружающей среде, компактную конструкцию, высокое напряжение и работу без дополнительных источников питания [3].

С этой целью производится моделирование условий работы пьезоэлемента. Однако до начала моделирования выделяется небольшая группа пьезоэлементов, которые затем подвергаются исследованию. С целью формирования этой группы предлагается проведение нижеследующих мероприятий [7–10].

Основная цель представленной ниже методики – оценка влияния внешних условий и технических характеристик на эффективность работы пьезоэлемента, которая является весьма актуальной проблемой в условиях высокой стоимости этих устройств и невозможности их замены в процессе эксплуатации.

Научная новизна исследования заключается в разработке методики, которая позволяет осуществить оценку эффективности пьезоэлемента на основании вариации его основных размеров (длина, толщина), а также приложенного напряжения, заложенных в разработанную модель, и анализе их влияния на перемещение конца пьезоэлемента, что является его основной характеристикой в условиях рассмотренной схемы.

Методы и материалы

Для выбора пьезоэлемента применяется экспертный метод оценки массива данных, а также математические методы вычисления, используемые для матриц.

Для эффективного выбора пьезоэлемента необходимо воспользоваться следующей расчет-

ной зависимостью, в результате которой определяется интегральный показатель эффективности пьезоэлемента [8–10]:

$$R = \sum_{i=1}^n a_i |b_i|, \tag{1}$$

где a_i – балльная оценка каждого свойства пьезоэлемента; b_i – численное значение свойства пьезоэлемента. Данное значение берется по модулю с целью упорядочения всех элементов и нахождения максимального значения; $n = 20$ – количество свойств пьезоэлементов.

Балльная оценка каждого из свойств будет различной, потому что зависит от задачи, выполняемой пьезоэлементом в составе электронного устройства.

Так, например, основным свойством при выборе пьезоэлемента может быть либо температура точки Кюри, либо относительная диэлектрическая проницаемость, либо пьезометрические модули [11–13].

Таким образом, анализ эффективности пьезоэлементов можно выразить формулой

$$A = \begin{pmatrix} a_1 \\ \dots \\ a_n \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_1 & \dots & c_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_n & \dots & c_n \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где A – матрица-столбец весовых коэффициентов; B – матрица свойств пьезоэлементов.

Для выбора наиболее эффективного пьезоэлемента необходимо выполнить умножение соответствующих элементов матрицы-столбца A на каждый из элементов каждого из столбцов матрицы B . В результате получим матрицы-строки в количестве n :

$$\begin{aligned} D_1 &= (d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1n}), \\ D_2 &= (d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2n}), \\ &\dots\dots\dots \\ D_n &= (d_{n1}, d_{n2}, \dots, d_{nn}). \end{aligned} \tag{3}$$

Получив новый массив данных, каждая строка которого характеризует отдельный пьезоэлемент, переходим к формуле (1). В этом случае производим суммирование всех элементов внутри каждой матрицы-строки и получаем значение интегрального показателя R :

$$\begin{aligned} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{aligned} \tag{4}$$

То есть получено n интегральных показателей эффективности R , которые рассчитываются по формуле (1).

Таким образом, образуется массив из 10 элементов, максимальное значение которых указывает на наиболее эффективные (предпочтительные) модели.

Рассмотрим, как влияют внешние условия и воздействия на эффективность многослойного пьезоактюатора.

На рисунке 1 приведена модель двухслойного пьезоактюатора (далее – элемента), изготовленного из материалов с различными пьезоэлектрическими свойствами. Элемент имеет консольное закрепление с одного конца. Второй конец может свободно перемещаться под воздействием прикладываемого к элементу внешнего напряжения [14, 15].

К условиям эксплуатации данной модели относятся:

- размеры элемента (определяются в зависимости от устройства, в котором он размещается);
- диапазон приложенного напряжения.

В соответствии с условиями эксплуатации к нему прикладываются различные напряжения, которые вызывают отклонение его незакрепленного конца [10].

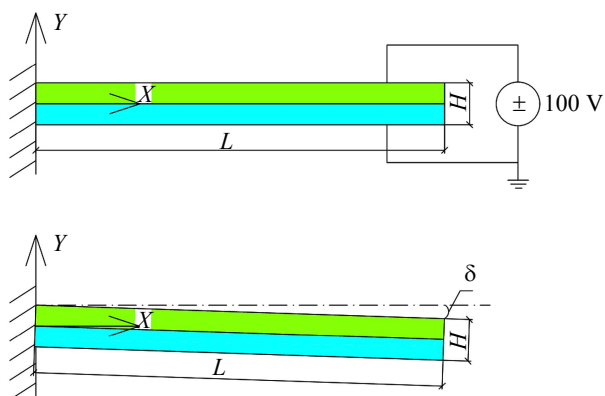


Рис. 1. Схема биморфного пьезоэлемента

Fig. 1. Scheme of a bimorph piezoelectric element

Материал пьезоэлемента – поливинилиденфторид (PVDF). Отношение длины к толщине элемента 100 (для случая № 1). Во время приложения напряжения к пьезоэлементу между нижним и верхним слоями возникает разность потенциалов. Приложенное напряжение вызывает перемещение элемента в направлении оси Oy . При этом один из слоев становится короче, а второй слой удлиняется [16, 17].

В таблице 1 приведены параметры, при которых производилось моделирование пьезоэлемента.

Данные параметры являются эксплуатационными, так как зависят от внешних условий, действующих на пьезоэлемент. Так, например, рабочее напряжение, действующее на него, зависит от цепи, в которую элемент включается.

Геометрические размеры могут варьироваться в зависимости от габаритов изделия, в состав которого включается пьезоэлемент, а также в зависимости от величины требуемых перемещений [18–20].

При проведении исследований в MatLab сформированы 3 варианта условий эксплуатации пьезоэлемента, в которых предусмотрено их варьирование в допустимых пределах.

Установленные пределы отражены в приведенной ниже таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для моделирования в MahLab

Table 1. Initial data for modeling in MatLab

Наименование параметра	Номер варианта расчета	Значение
Приложенное напряжение U , В (длина 0,1 м, толщина 0,001 м)	1,1	24
	1,2	100
	1,3	380
Длина пьезоэлемента, м (напряжение 100 В, толщина 0,001 м)	2,1	0,05
	2,2	0,1
	2,3	0,2
Толщина пьезоэлемента, м (напряжение 100 В, длина 0,001 м)	3,1	0,001
	3,2	0,01
	3,3	0,10

В таблице 2 приведены технические свойства (характеристики) пьезоэлемента, которые остаются неизменными от внешних условий и выбираются до начала моделирования.

Данные свойства являются постоянными для всех указанных в таблице 1 вариантов моделирования.

Таблица 2. Технические характеристики пьезоэлемента

Table 2. Technical characteristics of the piezo element

Наименование параметра	Значение
Модуль упругости материала, $\text{H}/\text{м}^2$	$2,0 \cdot 10^9$
Коэффициент Пуассона	0,29
Модуль сдвига	$0,775 \cdot 10^9$
d_{31}	$2,2 \cdot 10^{11}$
d_{33}	$-3,0 \cdot 10^{11}$

Таким образом, к используемой модели пьезоэлемента применяются различные вариации его размеров и приложенного напряжения с целью получения максимально возможного перемещения конца пьезоэлемента, которое является

важным выходным параметром, требуемым для эффективной работы определенного устройства, в состав которого входит рассматриваемый пьезоэлемент.

Результаты и обсуждение

В таблице 3 приведены результаты расчетов отклонения незакрепленного конца пьезоэлемента от горизонтального положения по каждому из вариантов.

Таблица 3. Результаты расчетов отклонения конца пьезоэлемента от горизонтального положения

Table 3. Results of calculations of deviation of the piezoelectric element end from the horizontal position

Номер варианта	Отклонение конца пьезоэлемента, м
1,1	$-7.89 \cdot 10^{-6}$
1,2	$-3,29 \cdot 10^{-5}$
1,3	$-1,25 \cdot 10^{-4}$
2,1	$-8,25 \cdot 10^{-6}$
2,2	$-3,3 \cdot 10^{-5}$
2,3	$-1,32 \cdot 10^{-4}$
3,1	$-3,3 \cdot 10^{-5}$
3,2	$-3,3 \cdot 10^{-7}$
3,3	$-3,3 \cdot 10^{-9}$

На рисунках 2–4 приведены графики зависимости отклонения конца пьезоэлемента в зависимости от условий эксплуатации.

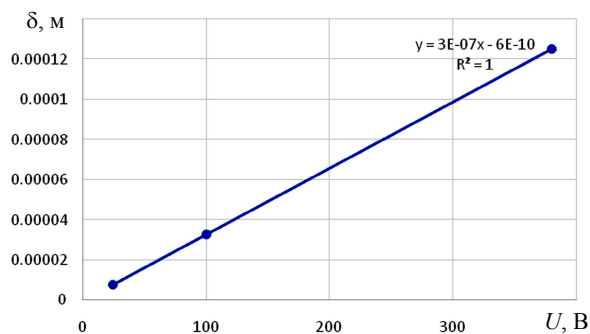


Рис. 2. График зависимости перемещения конца пьезоэлемента от величины рабочего напряжения

Fig. 2. Graph of the dependence of the movement of the end of the piezoelectric element on the value of the operating voltage

Из этих рисунков видно, при каких условиях возможно получение максимально возможных значений перемещения, если таковые требуются в соответствии с исходными данными.

По результатам проведенного моделирования пьезоэлемента в реальных условиях эксплуатации можно заключить следующее. С рос-

том напряжения, приложенного к пьезоэлементу, происходит линейный рост величины перемещений конца пьезоэлемента. Однако значение напряжения может быть увеличено до определенных пределов, так как зависит от рабочего напряжения выбранной сети, в которой работает устройство с пьезоэлементом.

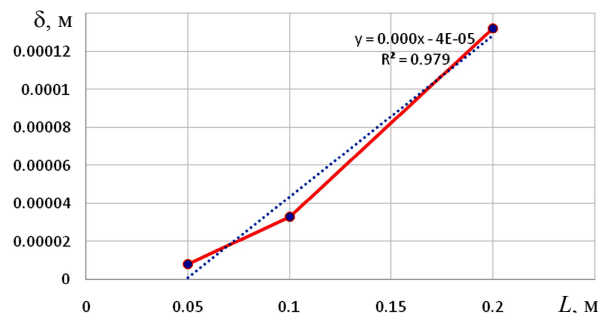


Рис. 3. График зависимости перемещения конца пьезоэлемента от его длины

Fig. 3. Graph of the dependence of the displacement of the end of the piezoelectric element on its length

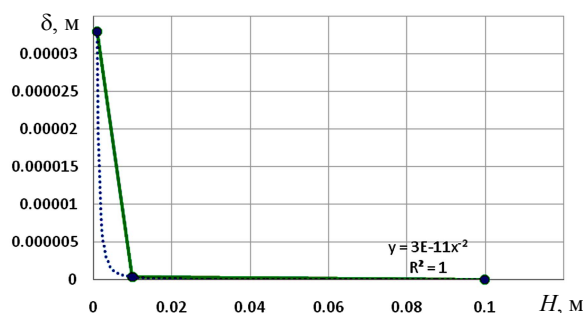


Рис. 4. График зависимости перемещения конца пьезоэлемента от его толщины

Fig. 4. Graph of the dependence of the displacement of the end of the piezoelectric element on its thickness

Кроме того, линейный рост перемещений происходит при увеличении длины пьезоэлемента. Для достижения больших значений перемещений возможно использование пьезоэлементов с большей длиной. При этом следует учитывать общие габариты устройства, в котором будет размещен элемент. При ограниченных его размерах выполнить увеличение длины пьезоэлемента будет весьма проблематичным. Как показывает рисунок 3, между длиной пьезоэлемента и его перемещением существует линейная зависимость.

При рассмотрении графика, приведенного на рисунке 4, видно, что с ростом толщины пьезоэлемента снижается величина его перемещений. Зависимость между этими величинами степен-

ная. Однако при снижении толщины пьезоэлемента необходимо помнить также об уменьшении его прочностных свойств.

При выборе пьезоэлемента из некоторого набора, представленного на рынке, в каталоге поставщика либо в БД, применяемой на предприятии, необходимо руководствоваться следующими положениями разработанной методики.

1. В процессе анализа большой выборки для правильного и эффективного подбора марки пьезоэлемента необходимо учитывать в первую очередь те его технические характеристики, которые оказывают влияние на производительность прибора либо другого устройства, в составе которого используется пьезоэлемент. То есть характеристики, в соответствии с которыми будут обеспечены основные функции устройства.

2. Вторым важным критерием выбора является обеспечение стабильности его работы.

3. Третий критерий отвечает за безопасность работы прибора.

4. По результатам моделирования пьезоэлемента выбирается от 3 до 5 наиболее приемлемых моделей.

5. На основании экспертного метода оценки (в частности метода анализа иерархий) может быть выбран наиболее эффективный пьезоэлемент, который затем запускается в работу для производства конечной продукции.

Выводы

По результатам проведенного исследования можно заключить, что обработка большого количества данных о свойствах пьезоэлементов выполнима с учетом формирования двух массивов данных об этих устройствах: технических и эксплуатационных, которые затем обрабатываются в виде двух массивов. По окончании этой обработки выбирается группа наиболее предпочтительных марок пьезоэлементов. Затем формируется модель пьезоэлемента, которая может быть исследована с использованием специализированного ПО, которое позволяет выделить степень влияния указанных выше данных на эффективную эксплуатацию пьезоэлемента.

В результате исследования разработана модель пьезоэлемента, которая описывается интегральным показателем его эффективности. Основной вклад в работу состоит в рациональном подборе такой вариации геометрических размеров пьезоэлемента (длина, толщина) и приложенного к устройству рабочего напряжения, которые позволяют достичь заданной (или максимальной) величины перемещений конца пьезоэлемента.

Библиографические ссылки

1. *Rjafallah A.* Modeling of Polyurethane Lead Zirconate Titanate Composites for Vibration Energy Harvesting. *J. of Composite Materials*, 2018, vol. 53, pp. 613-623.

2. *Zhang Y.L.* Electrostatic Energy Harvesting Device with Dual Resonant Structure for Wideband Random Vibration Sources at Low Frequency. *Review of Scientific Instruments*, 2016, vol. 87: 125001, pp. 1-8.

3. *Landaluce H.* Review of IoT Sensing Applications and Challenges Using RFID and Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 2020, vol. 20 (9), p. 2495.

4. *Zhang Y.-H.* A novel piezoelectric power generator integrated with a compliant energy storage mechanism. *J. of Physics: Applied Physics*, 2019, vol. 52 (45), pp. 455-501.

5. *Rafique S.* Piezoelectric Vibration Energy Harvesting: Modeling & Experiments, Springer International Publishing, Berlin, 2018, 172 p.

6. *Berbery A., Garakov V.* Love's type waves in the system of the cubic symmetry piezoelectric layer and half-space // Вестник Российско-Армянского (Славянского) университета: физико-математические и естественные науки. 2020. № 1. С. 27-34.

7. *Zhou M.* Modeling and Efficiency Analysis of a Piezoelectric Energy Harvester Based on the Flow Induced Vibration of a Piezoelectric. *Composite Pipe. Sensors*, 2018, vol. 18, p. 4277.

8. *de Almeida B.V., Pavanello R.* Topology Optimization of the Thickness Profile of Bimorph Piezoelectric Energy Harvesting Devices. *J. of Applied and Computational Mechanics*, 2019, vol. 5, pp. 113-127.

9. *Zdenek Hadas, Sa'sa Zelenika, Vikram Pakrashi.* Vibration Energy Harvesting for Wireless Sensors, MDPI, Basel, 2022, 242 p.

10. *Huseynov R.E., Mammadov A.I., Mehdiyeva R.Z.* Infrared Spectroscopy, X-ray Diffraction and Neutron Diffraction Study of $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ Solid Solutions. *J. Korean Phys. Soc.*, 2019, 74, 584-588. <https://doi.org/10.3938/jkps.74.584>

11. *Jabarov S.H.* *International J. of Modern Physics B*, 2018, 32, 1850303.

12. *Khanbareh H., Topolov V.Yu., Bowen C.R.* Piezoparticulate composites. Manufacturing, properties, applications. Cham: Springer Nature Publ., 2019 160 p.

13. *Нестеров А. А., Панич А. А.* Современные проблемы материаловедения керамических пьезоэлектрических материалов. Ростов н/Дону : Изд-во ЮФУ, 2019. 226 с.

14. *Голубев П. В., Дарьян Л. А., Образцов Р. М.* Оценка технического состояния высоковольтного оборудования. Инновационные разработки АО «Техническая инспекция ЕЭС» // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Контроль технического состояния оборудования объектов электроэнергетики. 2017. Вып. 48. С. 18-30.

15. *Chen N.* A piezoelectric impact-induced vibration cantilever energy harvester from speed bump with a low-power power management circuit. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2017, vol. 254, pp. 134-144.

16. Zhang Z. Experimental investigation on piezoelectric energy harvesting from vehicle-bridge coupling vibration. *Energy Convers. Manag.*, 2018, vol. 163, pp. 169-179.

17. Rezaeisaray M. Low frequency piezoelectric energy harvesting at multi vibration mode shapes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2015, vol. 228, pp. 104-111.

18. Cui X., Teng M., Hu J. PSPICE-Based Analyses of the Vibration Energy Harvester System with Multiple Piezoelectric Units. *IEEE Canadian J. of Electrical and Computer Engineering*, 2015, vol. 38, pp. 246-250.

19. Woo M.S. Study on increasing output current of piezoelectric energy harvester by fabrication of multi-layer thick film. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2018, vol. 269, pp. 524-534.

20. Huet F. Vibration energy harvesting device using P(VDF-TrFE) hybrid fluid diaphragm. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2016, vol. 247, pp. 12-23.

References

1. Rjafallah A. Modeling of Polyurethane Lead Zirconate Titanate Composites for Vibration Energy Harvesting. *J. of Composite Materials*, 2018, vol. 53, pp. 613-623.

2. Zhang Y.L. Electrostatic Energy Harvesting Device with Dual Resonant Structure for Wideband Random Vibration Sources at Low Frequency. *Review of Scientific Instruments*, 2016, vol. 87: 125001, pp. 1-8.

3. Landaluce H. Review of IoT Sensing Applications and Challenges Using RFID and Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 2020, vol. 20 (9), p. 2495.

4. Zhang Y.-H. A novel piezoelectric power generator integrated with a compliant energy storage mechanism. *J. of Physics: Applied Physics*, 2019, vol. 52 (45), pp. 455-501.

5. Rafique S. *Piezoelectric Vibration Energy Harvesting: Modeling & Experiments*, Springer International Publishing, Berlin, 2018, 172 p.

6. Berberyan A., Garakov V. Love's type waves in the system of the cubic symmetry piezoelectric layer and half-space. *Vestnik Rossijsko-Armjanskogo (Slavjanskogo) universiteta: fiziko-matematicheskie i estestvennye nauki*, 2020, no. 1, pp. 27-34.

7. Zhou M. Modeling and Efficiency Analysis of a Piezoelectric Energy Harvester Based on the Flow Induced Vibration of a Piezoelectric. *Composite Pipe*. *Sensors*, 2018, vol. 18, p. 4277.

8. de Almeida B.V., Pavanello R. Topology Optimization of the Thickness Profile of Bimorph Piezoelectric

Energy Harvesting Devices. *J. of Applied and Computational Mechanics*, 2019, vol. 5, pp. 113-127.

9. Zdenek Hadas, Sa'sa Zelenika, Vikram Pakrashi. *Vibration Energy Harvesting for Wireless Sensors*, MDPI, Basel, 2022, 242 p.

10. Huseynov R.E., Mammadov A.I., Mehdiyeva R.Z. Infrared Spectroscopy, X-ray Diffraction and Neutron Diffraction Study of BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ Solid Solutions. *J. Korean Phys. Soc.*, 2019, 74, 584-588. <https://doi.org/10.3938/jkps.74.584>

11. Jabarov S.H. *International J. of Modern Physics B*, 2018, 32, 1850303.

12. Khanbareh H., Topolov V.Yu., Bowen C.R. *Piezo-particulate composites. Manufacturing, properties, applications*. Cham: Springer Nature Publ., 2019 160 p.

13. Nesterov A.A., Panich A.A. *Sovremennyye problemy materialovedeniya keramicheskikh p'yezoelektricheskikh materialov* [Modern Problems of Materials Science of Ceramic Piezoelectric Materials]. Rostov-na-Donu : YUFU Publ., 2019, 226 p. (in Russ.)

14. Golubev P.V., Dar'yan L.A., Obraztsov R.M. [Assessment of the technical condition of high-voltage equipment. Innovative developments of JSC "Technical Inspectorate of UES"]. *Metody i sredstva otsenki sostoyaniya energeticheskogo oborudovaniya. Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya ob'yektov elektroenergetiki*, 2017, 48, pp. 18-30 (in Russ.).

15. Chen N. A piezoelectric impact-induced vibration cantilever energy harvester from speed bump with a low-power power management circuit. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2017, vol. 254, pp. 134-144.

16. Zhang Z. Experimental investigation on piezoelectric energy harvesting from vehicle-bridge coupling vibration. *Energy Convers. Manag.*, 2018, vol. 163, pp. 169-179.

17. Rezaeisaray M. Low frequency piezoelectric energy harvesting at multi vibration mode shapes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2015, vol. 228, pp. 104-111.

18. Cui X., Teng M., Hu J. PSPICE-Based Analyses of the Vibration Energy Harvester System with Multiple Piezoelectric Units. *IEEE Canadian J. of Electrical and Computer Engineering*, 2015, vol. 38, pp. 246-250.

19. Woo M. S. Study on increasing output current of piezoelectric energy harvester by fabrication of multi-layer thick film. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2018, vol. 269, pp. 524-534.

20. Huet F. Vibration energy harvesting device using P(VDF-TrFE) hybrid fluid diaphragm. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2016, vol. 247, pp. 12-23.

Basic Principles of Piezo Transducer Efficiency Evaluation Method

F.M. Al-Rufae, Postgraduate, Institute of Nuclear Energy and Industry, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

B.A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Institute of Nuclear Energy and Industry, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

V.V. Kuvshinov, PhD in Engineering, Associate Professor, Institute of Nuclear Energy and Industry, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Piezoelectric elements are one of the sources of alternative energy, the production of which does not require the use of fossil fuels harmful to the environment and the planet's climate. In this regard, the expansion of the scope of piezoelectric elements happens more and more intensively every year. The designs of piezoelectric elements that are capable of generating electricity as a result of external mechanical influences are in high demand. This demand is due to the ability to operate the most important navigation devices, smartphones, and low-voltage chargers from the received electricity in the absence of external sources of the latter or its high cost when generated by other methods. Due to the fact that piezoelectric elements have a number of specific properties due to their crystal structure, shape, size, and electrical characteristics, it is necessary to develop the selection criteria of these devices, guided by the most rational approach based on economic feasibility, market availability, and optimal manufacturability. Currently, a wide range of models of piezoelectric elements is presented that can meet the need of any customer on the Russian market despite numerous economic sanctions. Selection of the most efficient model is a major challenge for companies that use piezoelectric elements as separate components in the composition of series-produced electronic devices. There is no methodology for selecting such products; however, they can be in great demand due to multifold offers from suppliers. The method that is suggested allows the simulation of a piezoelectric element under settings that are similar to actual operating conditions, the analysis of their impact on the displacement of the piezoelectric element's end, which is its primary characteristic under the conditions of the considered scheme, as well as the evaluation of properties and the development of recommendations for use based on the variation of its main dimensions (length, thickness), as well as the applied voltage included in the developed model, and analysis of their influence to the displacement of the end of the piezoelectric element, which is the main characteristic of the piezoelectric element under the conditions of the considered scheme. Based on the results of modeling the piezoelectric element, the most acceptable models are selected.

Keywords: piezoelectric effect, multilayer piezoactuator, operating conditions, Matlab, displacement, piezoelectric element.

Получено 16.01.2023

Образец цитирования

Аль-Руфаи Ф. М., Якимович Б. А., Кувшинов В. В. Основные положения методики оценки эффективности пьезопреобразователей // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 1. С. 28–34. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-28-34.

For Citation

Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Basic Principles of Piezo Transducer Efficiency Evaluation Method]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 1, pp. 28-34 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-28-34.