

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ПЬЕЗОПРИВОДА ФОРСУНКИ

*У статті розглянута проблема оптимального розташування електродів на п'єзоприводі при виконанні умови максимального переміщення п'єзопривода і наявності функцій контролю переміщення. За допомогою експериментальних досліджень визначено оптимальне розташування вхідних, вихідних електродів на поверхні п'єзоелементів п'єзопривода.*

*В статье рассмотрена проблема оптимального расположения электродов на пьезоприводе при выполнении условия максимального перемещения пьезопривода и наличия функций контроля перемещения. При помощи экспериментальных исследований определено оптимальное расположение входных, выходных электродов на поверхности пьезоэлементов пьезопривода.*

### ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

При контроле работоспособности пьезопривода форсунки [1] способом, который заключается в измерении амплитуды сигнала  $U_{\text{вых}}$ , снимаемого с выходных электродов пьезопривода [2], возникают задачи определения оптимального размещения электродов на пьезоприводе.

Важными функциями, которые выполняет пьезопривод, является перемещение иглы форсунки на требуемое расстояние  $X_{\Sigma}$ , а также предоставление информации о величине выполненного перемещения для дальнейшего анализа.

Решение задачи контроля перемещения пьезопривода форсунки требует нанесения на торцы пьезопривода дополнительных электродов. При этом площадь входных электродов  $S_{\text{вх}}$  уменьшается. Из формулы

$$C_0 = \frac{E \cdot S_{\text{вх}}}{L}, \quad (1)$$

где  $C_0$  – собственная ёмкость пьезоэлемента,  $E$  – диэлектрическая проницаемость,  $S_{\text{вх}}$  – площадь электродов,  $L$  – длина пьезоэлемента следует, чем больше площадь входных электродов, нанесенных на торцы пьезопривода, тем больше собственная ёмкость пьезоэлемента [3].

Уменьшение собственной ёмкости пьезопривода  $C_0$  приводит к значительному увеличению внутреннего сопротивления, что повышает требования к входным и выходным каскадам усилителя устройства управления. Также, из формулы

$$F = \frac{S_{\text{вх}} \cdot U_{\text{вх}}}{g \cdot L}, \quad (2)$$

где  $F$  – развиваемая пьезоэлементом сила,  $U_{\text{вх}}$  – напряжение на входных клеммах пьезоэлемента,  $g$  – коэффициент описывающий чувствительность пьезоэлемента по напряжению,  $S_{\text{вх}}$  – площадь электродов,  $L$  – длина пьезоэлемента следует, что при уменьшении ёмкости пьезопривода происходит уменьшение развиваемой пьезоприводом силы  $F$ , а, следовательно, величины перемещения  $\Delta X$  [4].

Исходя из формулы

$$X_{\Sigma} = \Delta X \cdot n, \quad (3)$$

где  $X_{\Sigma}$  – величина перемещения пьезопривода,  $\Delta X$  – величина перемещения одного пьезоэлемента пьезопривода,  $n$  – количество пьезоэлементов в пьезоприводе следует, что сделать больше величину перемещения

пьезопривода можно при помощи увеличения количества пьезоэлементов в пьезоприводе, что приводит к увеличению габаритных размеров пьезопривода.

При выполнении функции контроля перемещения пьезопривода, амплитуда сигнала, снимаемого с пьезопривода форсунки  $U_{\text{вых}}$ , зависит от величины перемещения той области пьезопривода, на которой они размещены. Таким образом, актуальность обусловлена необходимостью определения оптимального расположения электродов с целью обеспечения заданного перемещения, выполнения функции контроля перемещения, существенно не увеличивая габаритные размеры пьезопривода.

### АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНАЛОГОВ

Пьезопривод состоит из набора пьезоэлементов (рис. 1), при этом функция контроля перемещения осуществляется при помощи нанесения на торцы каждого пьезоэлемента пьезопривода дополнительной пары электродов.

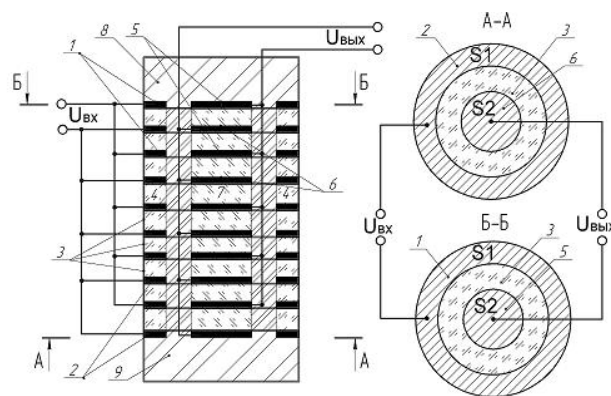


Рис. 1. Пьезопривод

Аналогом пьезоэлемента, в котором на пару входных электродов подаётся напряжение, а с другой пары выходных электродов снимается напряжение, является пьезотрансформатор [5], в котором в зависимости от размера электродов и взаимного расположения изменяется коэффициент преобразования входного напряжения в выходное. При исследовании пьезотрансформаторов нет необходимости измерять величину перемещения, поскольку наиболее важными являются такие электрические характеристики как коэффициент преобразования, амплитуда выходного напряжения, форма выходного сигнала, амплитудно-

частотная характеристика. Амплитудно-частотная характеристика пьезотрансформаторов указана в [6], переходные характеристики в [5].

Таким образом, с точки зрения электрических характеристик, пьезоэлементы пьезопривода с функцией контроля аналогичны пьезотрансформаторам.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной задачей экспериментального исследования является определение оптимального расположения входных 1, 2, выходных 5, 6 электродов на торцах пьезопривода (рис. 1) относительно друг друга, с целью получения максимального перемещения пьезопривода и выполнение функции контроля.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения оптимального расположения входных, выходных электродов на торцах пьезопривода относительно друг друга проведём эксперимент, в ходе которого пьезоэлемент подключается по схеме (рис. 1). Учитывая, что все пьезоэлементы пьезопривода одинаковые, а величина перемещения пьезопривода определяется по формуле (3), для определения оптимального расположения входных, выходных электродов на торцах пьезопривода относительно друг друга, достаточно провести эксперимент на одном пьезоприводе.

В качестве показателя, который определяет взаимное расположение электродов, взято соотношение площадей входных, выходных электродов  $S_1/S_2$ , где  $S_1$  – площадь входного электрода,  $S_2$  – площадь выходного электрода.

Поскольку амплитуда сигнала, снимаемого с выходных электродов 5, 6 зависит от величины перемещения пьезопривода, целью экспериментальных исследований является определение при каком соотношении площадей электродов  $S_1, S_2$  амплитуда сигнала снимаемого с выходных электродов будет максимальна.

Для проведения эксперимента взято 4 пьезоэлемента с различными размерами входных, выходных электродов. Параметры пьезоэлементов указаны в табл. 1.

Таблица 1

Обозначение	$S_2, \text{мм}^2$	$S_1, \text{мм}^2$	$D, \text{мм}$	$L, \text{мм}$	Материал
Пьезоэлемент № 1	24	678	30	2	ЦТБС-8
Пьезоэлемент № 2	57	643	30	2	ЦТБС-8
Пьезоэлемент № 3	196	463	30	2	ЦТБС-8
Пьезоэлемент № 4	344	338	30	2	ЦТБС-8

В ходе эксперимента пьезоэлемент подключается по схеме, приведенной на рис. 2. В качестве источника напряжения используется генератор импульсов Г5-54. Сигнал, снимаемый с выходных электродов, измеряется при помощи осциллографа С1-65А.

На электроды 1, 2 пьезоэлемента (рис. 2) подаётся сигнал с амплитудой 60 В (рис. 3). Контроль выполнения перемещения производится по сигналу снимаемого с электродов 5, 6.

Вид сигнала, снимаемого с выходных электродов 5, 6 пьезоэлемента № 1, показан на рис. 4; снимаемого с выходных электродов 5, 6 пьезоэлемента № 2 – на рис. 5; снимаемого с выходных электродов 5, 6 пьезоэлемента № 3 – на рис. 6; снимаемого с выходных электродов пьезоэлемента № 4 – на рис. 7.

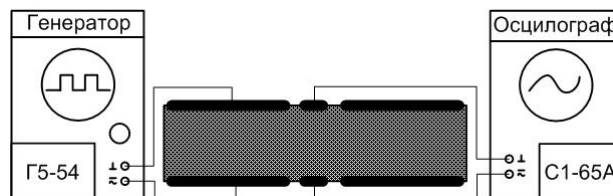


Рис. 2. Схема подключения пьезоэлемента

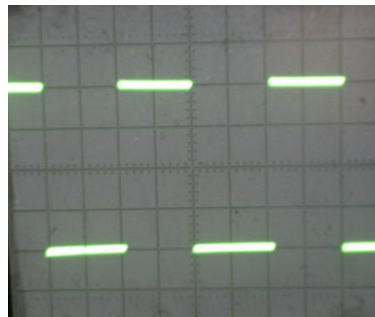


Рис. 3. Сигнал, подаваемый на входные электроды 1, 2

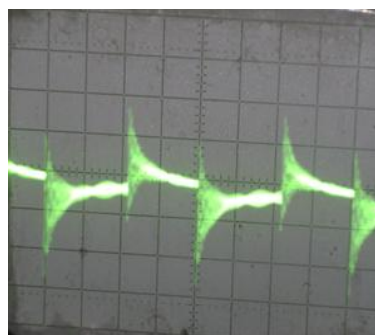


Рис. 4. Вид сигнала с выходных электродов пьезоэлемента №1

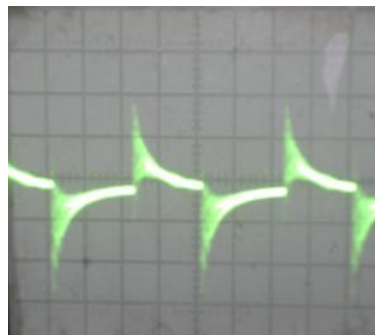


Рис. 5. Вид сигнала с выходных электродов пьезоэлемента №2

Данные, отображаемые на рис. 4-7 фиксируются при помощи осциллографа С1-65А.

На рис. 8 показан график зависимости амплитуды выходного сигнала от соотношения площадей входных, выходных электродов.

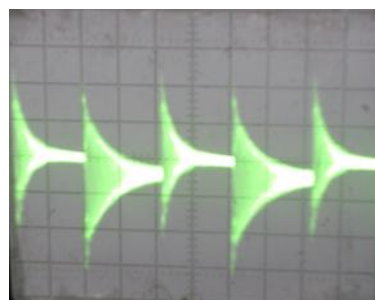


Рис. 6. Вид сигнала с выходных электродов пьезоэлемента № 3

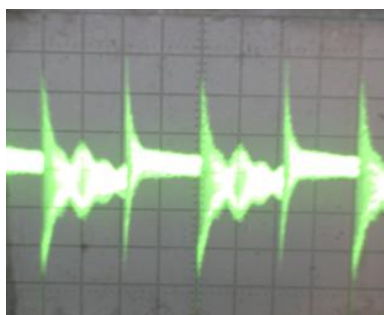


Рис. 7. Вид сигнала с выходных электродов пьезоэлемента № 4

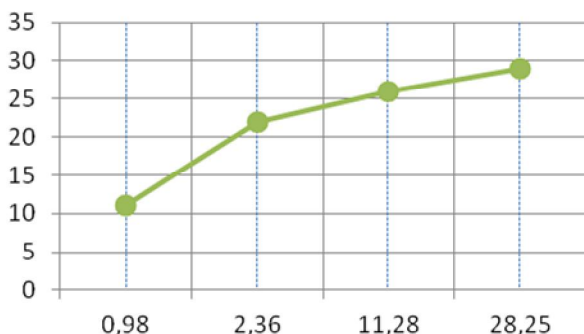


Рис. 8. Зависимость амплитуды выходного сигнала от площадей входных, выходных электродов

Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номер пьезоэлемента	$S_1 / S_2$	Входное напряжение $U_{вх}, В$	Выходное напряжение $U_{вых}, В$
№1	28,25	60	29
№2	11,28	60	26
№3	2,36	60	22
№4	0,98	60	11

### ВЫВОД

Из данных, отображённых в табл. 2 и рис. 8 следует, что чем больше площадь входных электродов, тем больше амплитуда сигнала снимаемого с выходных электродов, следовательно, и величина перемещения. Таким образом, для выполнения условия максимального перемещения, а также функции контроля, конструкция пьезопривода должна предусматривать наличие входных, выходных электродов, при этом площадь входных электродов должна быть как можно больше, а выходных, как можно меньше.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективами дальнейших исследований является определение влияния параметров окружающей среды на перемещение областей пьезопривода  $S_1, S_2$ , а также определение дополнительно возможных конфигураций расположения входных, выходных электродов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 54009 України, МКП(2006) F02M 51/00. П'єзопривід / М.Д. Кошовий, О.О. Стрілець (Україна). – № u201004629; Заявл. 19.04.2010; Опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
2. Пат. № 34947 України, МКП(2006) F02D 41/40. Пристрій керування системою впрыскування палива / М.Д. Кошовий, О.О. Стрілець (Україна). – №u200804544; Заявл. 09.04.2008; Опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.
3. Пьезоэлектрические преобразователи / В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, Ю.Ю. Бондаренко, Т.Ю. Кисиль, М.П. Мусиенко, С.В. Роттэ, И.Б. Чудаева / Под ред. В.М. Шарапова. – Черкассы; ЧГТУ, 2004. – 435 с.
4. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
5. Шарапов В.М., Сотула Ж.В., Туз В.В. Динамические характеристики биморфных доменно-диссипативных пьезотрансформаторов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 3.
6. Шарапов В.М., Бублей А.В.. Исследование амплитудно-частотных характеристик дисковых пьезотрансформаторов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2007. – № 3-4.

Bibliography (transliterated): 1. Pat. № 54009 Ukraini, MKP(2006) F02M 51/00. P'ezoprivid / M.D. Koshovij, O.O. Strilec' (Ukraina). - № u201004629; Zayavl. 19.04.2010; Opubl. 25.10.2010, Byul. № 20. 2. Pat. № 34947 Ukraini, MKP(2006) F02D 41/40. Pristrij keruvannya sistemoyu vpriskuvannya paliva / M.D. Koshovij, O.O. Strilec' (Ukraina). - №u200804544; Zayavl. 09.04.2008; Opubl. 26.08.2008, Byul. № 16. 3. P'ezo`elektricheskie preobrazovateli / V.M. Sharapov, I.G. Minaev, Yu.Yu. Bondarenko, T.Yu. Kisil', M.P. Musienko, S.V. Rott'e, I.B. Chudaeva / Pod red. V.M. Sharapova. -Cherkassy; ChGTU, 2004. - 435 s. 4. Sharapov V.M., Musienko M.P., Sharapova E.V. P'ezo`elektricheskie datchiki / Pod red. V.M. Sharapova. - M.: Tehnosfera, 2006. - 632 s. 5. Sharapov V.M., Sotula Zh.V., Tuz V.V. Dinamicheskie karakteristiki bimorfnyh domenno-dissipativnyh p'ezotransformatorov // Visnik Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. - 2008. - № 3. 6. Sharapov V.M., Bublej A.V.. Issledovanie amplitudno-chastotnyh karakteristik diskovyh p'ezotransformatorov // Visnik Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. -2007. - № 3-4.

Поступила 18.06.2011

Стрелец Александр Александрович  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"  
кафедра "Информационно-измерительные системы"  
61070, Харьков, ул. Чкалова 17  
тел. (063) 312-51-84

Strelets A.A.

### Determination of optimal electrode arrangement on a piezoelectric actuator

A problem of optimal electrode arrangement on a piezoelectric actuator under meeting conditions of the piezoelectric actuator maximum shift and shift control ability is considered in the article. With the help of experimental research, optimal arrangement of input and output electrodes on the surface of the piezoelectric actuator piezoelectric elements is specified.

**Key words** – piezoelectric actuator, electrode arrangement, optimization.