

*М.Г. ГАСАНОВ*, канд. техн. наук, доц., Азербайджанский технический университет, Баку,  
*С.Г. ГАРДАШОВ*, ст.преп., Азербайджанский технический университет, Баку

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ КОММУТАТОРОВ**

Проанализированы возможности применения пьезоэлектрических приводов для коммутации оптических каналов и предложен метод частотного согласования размеров элементов микропьезоэлектрического двигателя для оптических коммутаторов. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** пьезоэлектрический привод; оптический коммутатор; частотное согласование размеров элементов; микропьезоэлектрический двигатель.

**Постановка проблемы.** За сравнительно короткую историю развития оптических сетей было разработано огромное число различных типов коммутаторов оптических сигналов, основанных на самых различных физических принципах [1].

Главной задачей оптических коммутаторов является обеспечение максимально высокого быстродействия, достаточного для разрабатываемых терабитных оптических линий связи [2], эффективность [3] и обеспечение минимально возможной удельной стоимости, а также снижение потребляемой мощности по сравнению с существующими электронными аналогами. Решение этих задач возможно с применением традиционных механических, электрооптических, термо-оптических, жидкокристаллических, полупроводниковых, интегрально-оптических, микроэлектромеханических и других устройств.

В настоящее время наряду с другими микродвигателями благодаря простоте конструкции и дешевизне изготовления находят всё большее применение твёрдотельные микропьезоэлектрические двигатели (МПД). Принцип действия МПД основан на обратном пьезоэлектрическом эффекте (ОПЭ), в них энергия колебательных движений частиц пьезоэлемента (ПЭ), возбуждаемых переменным напряжением, подаваемым на его электроды от ультразвукового генератора (УЗГ) посредством ударного взаимодействия, передаётся контактирующей с ним подвижной части (ПЧ). Переменным напряжением от УЗГ в ПЭ возбуждаются только продольные колебания по его длине, а в результате его ударного взаимодействия с ПЧ в нём возбуждаются и поперечные

(изгибные) колебания [5].

**Многоканальный оптический коммутатор.** Одним из перспективных путей решения проблемы является применение пьезоэлектрических микроприводов [4], на основе которых возможно создание новых многоканальных, многофункциональных пьезоэлектрических коммутаторов оптических каналов.

Обобщенную схему многоканального коммутатора с применением микропьезоэлектрических приводов для переключения оптических каналов представим в следующем виде (рис. 1)

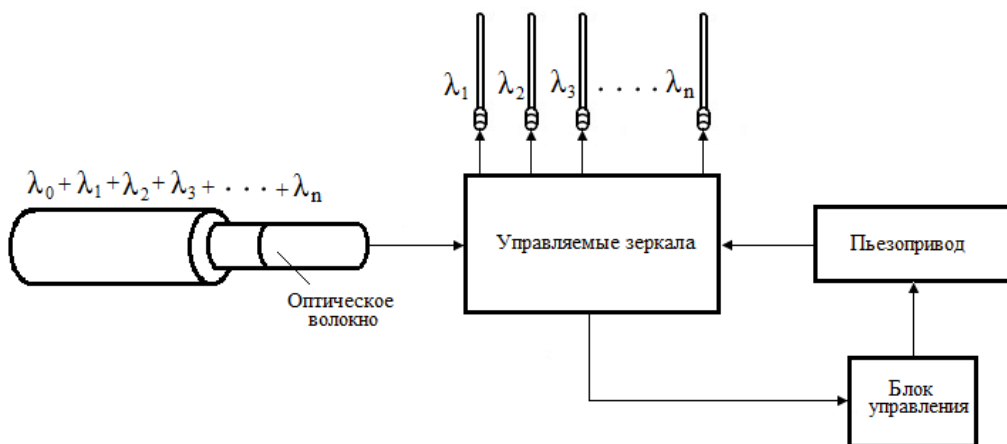


Рис.1. Обобщенная схема многоканального коммутатора с применением микропьезоэлектрических приводов для переключения оптических каналов

Как видно из рис. 1, мультиплексированный в единый оптический сигнал, поступающий из оптического волокна  $\sum \lambda_n$ , демультиплексируется своими составляющими  $\lambda_i$  посредством управляемых зеркал с помощью специального блока управления пьезоприводом вращательного движения. В данной схеме новизной является узел, созданный сочетанием управляемого зеркала оптического коммутатора с пьезоприводом линейного или вращательного движения.

Применение пьезоэлектрических многоканальных коммутаторов оптических каналов тесно связано с расчётом рабочих характеристик микропьезоэлектрических двигателей и оптимизацией параметров микропьезоэлектрических двигателей.

**Частотное согласование размеров элементов пьезоэлектрического двигателя.** Показатели качества МПД в основном зависят от характера взаимодействия ПЭ с ПЧ и от формы

траектории контактирующего с ПЧ конца ПЭ. Известно, что наилучшие показатели качества – сила тяги, быстродействие и к.п.д. МПД можно получить, когда эта траектория имеет форму эллипса и ПЭ в течение каждого периода колебаний входит в контакт с ПЧ один раз. Для этого частоты продольных и изгибных колебаний ПЭ должны быть равными, фазовый сдвиг между ними должен быть  $90^\circ$ , частота изгибных колебаний ПЧ должна равняться частоте колебаний ПЭ. Выполнение этих условий требует частотного согласования размеров ПЭ и ПЧ определённым образом. В работе [6] приведены формулы для согласования размеров только ПЭ, обеспечивающие приблизительное равенство частот его продольных и изгибных колебаний без учёта его взаимодействия с ПЧ, в результате чего при реальной работе (ПД) эффект согласования снижается.

**Целью статьи** является разработка для коммутаторов оптических систем нового метода передачи энергии, учитывающего взаимодействие ПЭ с ПЧ, применение которого позволяет более точно определить согласованные размеры не только ПЭ, но и ПЧ.

**Основная часть.** Принципиальная схема рассматриваемого МПД самой простой конструкции показана на рис. 2.

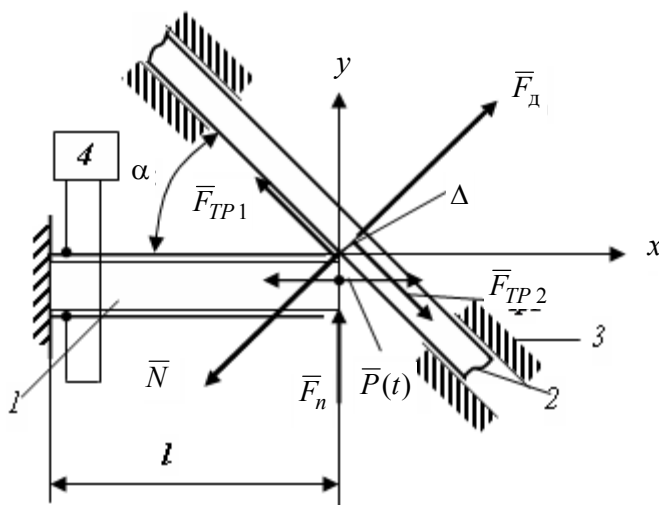


Рис. 2. Принципиальная схема МПД простой конфигурации

Здесь: 1 – пьезоэлемент, 2 – подвижная часть, 3 – направляющие опоры, 4 – ультразвуковой генератор.

Один конец ПЭ заделан, а другой, свободный конец, прижат силой  $\overline{F}_n$  под углом  $\alpha$  к ПЧ, имеющей возможность двигаться поступательно в направляющих опорах. ПЭ и ПЧ имеют прямоугольные

сечения шириной  $a$ ,  $a_1$  и толщиной  $b$ ,  $b_1$  соответственно, длина ПЭ  $l$ , расстояния между направляющими опорами  $l_1$ .

Динамика взаимодействия ПЭ и ПЧ описывается системой дифференциальных уравнений в операторной форме [7]:

$$\begin{cases} u(t) = L_u(l, s)[P(t) - \Phi_x(u, w, su, sw)], \\ w(t) = -L_w(l, s)[P_n(t) - \Phi_y(u, w, su, sw)], \end{cases} \quad (1)$$

где  $u$ ,  $w$  – относительные смещения контактирующих точек ПЭ и ПЧ соответственно по осям  $x$  и  $y$ , отсчитываемые от их начального неподвижного состояния;  $P(t) = a_p \sin \omega t$  – сила, возникающая в результате ОПЭ, приложенная к свободному концу ПЭ,  $\omega = 2\pi f$  круговая частота,  $s = \partial/\partial t$ ;  $\Phi_x$ ,  $\Phi_y$  – проекции нелинейной силы  $\bar{\Phi}$  ударного взаимодействия между ПЭ и ПЧ на осях  $x$  и  $y$ :

$$\begin{aligned} \bar{\Phi} &= \bar{N} + \bar{F}_{Tp1}, \\ \bar{N} &= -\bar{F}_\partial, \quad \bar{F}_{Tp1} = -\bar{F}_{Tp2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\bar{F}_\partial$  – сила давления на ПЧ,  $\bar{F}_{Tp1}$ ,  $\bar{F}_{Tp2}$  – силы трения, действующие, соответственно, на ПЭ и ПЧ.

В соотношениях (1)  $L_u(l, s)$ ,  $L_w(l, s)$  – операторы суммарных динамических податливостей контактирующих элементов ПЭ и ПЧ, определяемые при единичной гармонической силе ( $a_p = 1$ ), действующей на свободный конец ПЭ:

$$\begin{cases} L_u(l, s) = \frac{l}{ES\xi_u} \left( \operatorname{tg} \xi_u - j \frac{\chi}{4\pi} \frac{0.5 \sin 2\xi_u}{\cos^2 \xi_u} \right), \\ L_w(l, s) = \frac{EI}{l^3} (A + jB), \end{cases} \quad (3)$$

где

$$A = \frac{\operatorname{ch} \xi_w \sin \xi_w - \operatorname{sh} \xi_w \cos \xi_w}{\xi_w^3 (1 + \operatorname{ch} \xi_w \cos \xi_w)}, \quad (4)$$

$$B = \frac{\chi \left[ \frac{\xi_w}{2} (\operatorname{ch} 2\xi_w - \cos 2\xi_w) + 2\xi_w \operatorname{sh} \xi_w \sin \xi_w + (1 + \operatorname{ch} \xi_w \cos \xi_w) D \right]}{\xi_w^3 (1 + \operatorname{ch} \xi_w \cos \xi_w)}, \quad (5)$$

где  $D = (\operatorname{ch}\xi_w \sin \xi_w - \operatorname{sh}\xi_w \cos \xi_w)$ ,  $E$  – модуль упругости ПЭ;  $S$  – площадь поперечного сечения ПЭ;  $\chi$  – коэффициент поглощения;

$I = \frac{1}{12} ab^3$  – момент инерции поперечного сечения ПЭ;  $\xi_u = \frac{\omega l}{\gamma}$ ;

$\gamma = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ ;  $\xi_w = l^4 \sqrt{\frac{\rho \omega^2 S}{EI}}$ ;  $\rho$  – плотность ПЭ.

Отыскивая решения системы уравнений (1) в виде :

$$u(t) = m_u + u^0(t) = m_u + a_u \sin(\omega t - \varphi_u), \quad (6)$$

$$w(t) = m_w + w^0(t) = m_w + a_w \sin(\omega t - \varphi_w), \quad (7)$$

где  $m_u$ ,  $m_w$  и  $u^0$ ,  $w^0$  – постоянные и переменные составляющие  $u(t)$  и  $w(t)$ , производим гармоническую линейризацию силы ударного взаимодействия [8]:

$$\Phi_X(u, su) \approx m_{Fu}(m_u, a_u) + k_u(m_u, a_u)u^0 + \beta_u(m_u, a_u)su^0, \quad (8)$$

$$\Phi_Y(w, sw) \approx m_{Fw}(m_w, a_w) + k_w(m_w, a_w)w^0 + \beta_w(m_w, a_w)sw^0, \quad (9)$$

$m_{Fu}$ ,  $m_{Fw}$ ,  $k_u$ ,  $k_w$ ,  $\beta_u$ ,  $\beta_w$  – коэффициенты гармонической линейризации:

$$m_{Fu} = \frac{a_u}{2\pi} c \sin \alpha [D_u (2 \arcsin D_u - \pi) + 2 \sin \alpha \sqrt{1 - D_u^2}], \quad (10)$$

$$k_u = \frac{1}{\pi} \{ [c \sin \alpha \cos \varphi_u (\sin \alpha - 2) - \mu \omega \cos^2 \alpha \sin \varphi_u] D_u \sqrt{1 - D_u^2} + 0.5 (c \sin^2 \alpha \cos \varphi_u + \mu \omega \cos^2 \alpha \sin \varphi_u) (\pi - 2 \arcsin D_u) \}, \quad (11)$$

$$\beta_u = \frac{1}{\pi \omega} \{ [c \sin \alpha \sin \varphi_u (2 - \sin \alpha) - \mu \omega \cos^2 \alpha \cos \varphi_u] D_u \sqrt{1 - D_u^2} + 0.5 (\mu \omega \cos^2 \alpha \cos \varphi_u - c \sin^2 \alpha \sin \varphi_u) (\pi - 2 \arcsin D_u) \}, \quad (12)$$

$$m_{Fw} = \frac{a_w}{2\pi} c \cos \alpha [D_w (2 \arcsin D_w - \pi) + 2 \sin \alpha \sqrt{1 - D_w^2}], \quad (13)$$

$$k_w = \frac{1}{\pi} \{ [c \cos \alpha \cos \varphi_w (\cos \alpha - 2) - \mu \omega \sin^2 \alpha \sin \varphi_w] D_w \sqrt{1 - D_w^2} + 0.5 (c \cos^2 \alpha \cos \varphi_w + \mu \omega \sin^2 \alpha \sin \varphi_w) (\pi - 2 \arcsin D_w) \}, \quad (14)$$

$$\beta_w = \frac{1}{\pi\omega} \{ [c \cos\alpha \sin\varphi_w (2 - \cos\alpha) - \mu\omega \sin^2\alpha \cos\varphi_w] D_w \sqrt{1 - D_w^2} + 0.5(\mu\omega \sin^2\alpha \cos\varphi_w - c \cos^2\alpha \sin\varphi_w)(\pi - 2\arcsin D_w) \}, \quad (15)$$

где  $c$  – коэффициент жесткости ПЧ;  $\mu$  – коэффициент трения между ПЭ и ПЧ;

$$D_u = \frac{\Delta - m_u \sin\alpha}{a_u}, \quad D_w = \frac{\Delta - m_w \cos\alpha}{a_w}, \quad (16)$$

$\Delta$  – зазор (натяг) между ПЭ и ПЧ.

Решая систему (1) с учетом (3) – (15) получена система трансцендентных уравнений, определяющих неизвестные параметры искомого решения  $m_u, m_w, a_u, a_w, \varphi_u, \varphi_w$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} a_u = \frac{a_p}{\sqrt{U_u^2 + V_u^2}}, \\ \varphi_u = \arctg \frac{V_u}{U_u}, \\ U_w = 0, \\ V_w = 0, \\ m_u = -\frac{l}{ES} m_{Fu}, \\ m_w = \frac{l^3}{EI} (F_n - m_{Fw}), \end{array} \right. \quad (17)$$

где

$$U_u = \frac{ES}{l} (\zeta_u \operatorname{ctg}\zeta_u + k_{ul}), \quad (18)$$

$$V_u = \frac{ES}{l} (\omega\beta_{ul} + \frac{\chi\zeta_u}{4\pi} \frac{\zeta_u + 0.5 \sin 2\zeta_u}{\sin^2 \zeta_u}), \quad (19)$$

$$U_w = \frac{EI}{l^3} (\frac{A}{A^2 + B^2} + k_{wl}), \quad (20)$$

$$V_w = \frac{EI}{l^3} (\frac{B}{A^2 + B^2} + \omega\beta_{wl}), \quad (21)$$

$$k_{ul} = \frac{l}{ES} k_u, \quad \beta_{ul} = \frac{l}{ES} \beta_u, \quad k_{wl} = \frac{l^3}{EI} k_w, \quad \beta_{wl} = \frac{l^3}{EI} \beta_w, \quad (22)$$

где  $U_w, U_w$  и  $V_w, V_w$  – вещественные и мнимые части соответственно суммарных динамических жесткостей  $W_U, W_W$  контактирующих элементов ПЭ и ПЧ:

$$\begin{cases} W_U = L_U^{-1}(l, s) + k_u + \beta_u s, \\ W_W = L_W^{-1}(l, s) + k_w + \beta_w s. \end{cases} \quad (23)$$

Для согласования размеров ПЧ выведены следующие формулы:

$$c = 3.2 E_1 a_1 \left( \frac{b_1}{l_1} \right)^3, \quad (24)$$

$$f = 0.68 \frac{b_1}{l_1^2} \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}}, \quad (25)$$

где  $c, f$  – жесткость и собственная частота изгибных колебаний ПЧ;  $E_1, \rho_1$  – модуль упругости и плотность материала ПЧ.

Предлагается следующий порядок частотного согласования размеров ПЭ и ПЧ.

1) Выбирают материалы для ПЭ и ПЧ;

2) Изменяя в формулах (24), (25) размеры  $a_1, b_1$ , и расстояние  $l_1$  между опорами, определяют интервалы допустимых из конструктивных соображений значений жесткости ( $c_{min} \div c_{max}$ ) и собственной частоты изгибных колебаний ( $f_{min} \div f_{max}$ ) ПЧ;

3) Для конкретного значения  $c$ , взятого из указанного в п.2 интервала, согласуют размеры ПЭ. Т.е. изменяя размеры  $a, b, l$  ПЭ, добиваются равенства собственных частот продольных и изгибных колебаний по длине ПЭ. С этой целью используют уравнения, определяющие совокупность этих собственных частот:

$$\begin{cases} U_u = U'_u(f, l) + U''_u(f, a, b, l, D_u, c) = 0, \\ U_w = U'_w(f, l) + U''_w(f, a, b, l, D_w, c) = 0. \end{cases} \quad (26)$$

Рекомендуется решать систему уравнений (26) графически, построением с помощью компьютера в одной системе координат графиков функций  $U'_u(f)$  и  $-U''_u(f)$ , а в другой – графиков

$U'_w(f)$  и  $-U''_w(f)$ , на которых будут наглядно видны все моды собственных частот.

С учетом условия  $\varphi_u - \varphi_w = 90^0$ ,  $\varphi_u = 90^0$  графики  $U''_u(f)$  и  $U''_w(f)$  представляют собой прямые, угловые коэффициенты которых при заданных  $c, \mu, \alpha$  зависят соответственно только от  $D_u$  и  $D_w$ . Так как  $|D_u| \leq 1$  и  $|D_w| \leq 1$ , эти уравнения решаются только для значений:  $D_u = -1, D_u = 1$  и  $D_w = -1, D_w = 1$ . Решение для других значений  $D_u$  и  $D_w$  будут между полученными выше решениями. Довольно легко достигается равенство первой моды собственных частот продольных колебаний и второй моды собственных частот изгибных колебаний. Фиксируем  $D_u$  и  $D_w$ , при которых  $f = f_u = f_w$ . Полученная частота должна входить в допустимый интервал (п. 2). В противном случае, изменив  $c, a, b, l$ , необходимо повторить расчет по п.2, п.3.

4) Подставив частоту  $f = f_u = f_w$  в выражения  $a_u = |L_u(l, s)|$  и  $a_w = |L_w(l, s)|$  определяют начальные приближенные значения  $a_u, a_w$ .

5) Решают систему из четырех уравнений, полученную из (17) с учетом  $f = f_u = f_w$ , начальные значения  $a_u, a_w, \varphi_u = 90^0, \varphi_w = 0, U_u = 0, U_w = 0$  и  $a_p = 1$  относительно  $a_u, m_u, a_w, m_w$ .

6) Используя результаты п. 5 по соотношениям (16) уточняют  $D_u$  и  $D_w$ , согласно п. 3 скорректируется частота  $f = f_u = f_w$ .

7) Согласуются размеры ПЧ. Подставив  $f = f_u = f_w$  из п. 6. в (25), определяют отношение  $\frac{b_1}{l_1^2}$ . Задаваясь значением  $b_1 \leq a_1$ , определяют  $l_1$ . Наконец из формулы (24) определяют  $a_1$ . С точки зрения наилучшей передачи энергии от ПЭ к ПЧ, желательно выполнение условия:

$$a \leq a_1.$$

**Выводы.** В соответствии с изложенным можно заключить что, согласованные по предложенному методу размеры пьезоэлемента и подвижной части обеспечивают наилучшую передачу энергии от ПЭ КПЧ и наилучшую передачу энергии от ПЭ к ПЧ, позволяющих их эффективно применять в коммутаторах оптических каналов.

**Список литературы:** 1. *Гайворовская Г.С.* Особенности применения оптических коммутаторов в современных информационных сетях / *Г.С. Гайворовская, А.В. Рябцов* // *Applicable Information Models*. – Sofia: ITNEA, 2011. – № 22. – P. 169-181.



2. *Гайворовская Г.С.* Особенности коммутации оптических сигналов при использовании различных режимов переноса информации / *Г.С. Гайворовская, Б.А. Рыбалов.* – 2015. – С. 1-7 <http://journals.uran.ua/reftech/article/viewFile/51945/52999>
3. *Гасанов М.Г.* Эффективность пьезоэлектрического дефлектора светового луча в технике связи / *М.Г. Гасанов* // Известия АзТУ.– Баку – 2010 – № 2 (66). – С. 44-46.
4. *Hasanov M.H.* Application of piezoelectric light beam deflector in optical commutators of fiber-optical communication networks / *M.H. Hasanov, V.A. Maharramov* // The international science-technical journal HEARD of the Azerbaijan Engineering Academy. – 2017. – Vol. 9. – № 2. – P. 116-121.
5. *Гасанов М.Г.* Пьезоэлектрический реверсивный привод / *М.Г. Гасанов, В.С. Вишневыский* // Авт. Свид. СССР № 1827708. – 1995.
6. *Джагунов Р.Г.* Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике / *Р.Г. Джагунов, А.А. Ерофеев* // Ленинград: Машиностроение, Ленинградское отделение. – 1986. – 165 с.
7. *Гардашов С.Г.* Постановка и выбор метода решения задачи исследования динамики виброударного взаимодействия в пьезоэлектрическом двигателе / *С.Г. Гардашов, Т.Б. Гурбанов, Х.Г. Гардашова, Э.Т. Газарханов, Т.И. Кяримли* // Милли Авиасийа Академийасы, Елми мяжмуяляр. – Баку. – 2003. – Том 5. – № 4. – С. 36-40.
8. *Гардашов С.Г.* Гармоническая линеаризация силы ударного взаимодействия в ПД / *С.Г. Гардашов, Т.Б. Гурбанов, Х.Г. Гардашова* // АзТУ, Елми ясярляр – Фундаментал елмляр. – Баку. – 2003, – № 3. – Том II (7). – С. 20-24.
9. *Hasanov M.H.* Multifunctional multichannel piezoelectric switch for optical networks. Modern means of communication // Materials of the XXII International Scientific and Technical Conference. 19-20 October 2017. – Minsk: Belarus. – P. 16-17.
10. *Hasanov M.H.* Physical and mathematical model of nonlinear piezoelectric transducers for linear displacements. Actual problems of science and technology // X International scientific-practical conference of young scientists. Collection of conference materials. – Publishing house "Neftegazovoye delo", 25-26 November. – Ufa: Russian, 2017. – Vol. 1. – P. 292-293.

#### **References:**

1. Gaivorovskaya, G.S and Ryabtsov, A.B. (2011), "Features of the use of optical switches in modern information networks", *Journal of Applicable Information Models*, Sofia, No. 22, pp. 169-181.
2. Gaivorovskaya, G.S. and Rybalov, B.A. (2015). "Features of switching optical signals when using different modes of information transfer", available at: <http://journals.uran.ua/reftech/article/viewFile/51945/52999>, (accessed 2 January 2011).
3. Hasanov, M.H. (2010), "Efficiency of a piezoelectric deflector for a light beam in communication technology", *Journal Proceedings of AzTU*, No. 2 (66), Baku, pp. 44-46.
4. Hasanov, M.H. and Maharramov, V.A. (2017), "Application of piezoelectric light beam deflector in optical commutators of fiber-optical communication networks", *The international science - technical journal HEARD of the Azerbaijan Engineering Academy*, Vol. 9, No. 2, pp. 116-121.
5. Hasanov, M.H. and Vishnevsky, V.S. (1995). Piezoelectric reversible drive, Patent, USSR, No. 1827708.
6. Jagupov, R.G. and Erofeev, A.A. (1986) , "*Piezoceramic elements in instrumentation and automation*", "Mechanical Engineering", Leningrad Branch, Leningrad, 165 p.
7. Gardashov, S.G., Gurbanov, T.B., Gardashova, Kh.G., Gazarkhanov, E.T. and Kyarimli, T.I. (2003). "Statement and choice of the method for solving the problem of studying the dynamics of vibroimpact interaction in a piezoelectric engine", *Journal National Aviation Academy*, Scientific-notes , Vol. 5, No. 4, Baku, pp. 36-40.
8. Gardashov, S.G., Gurbanov, T.B. and Gardashova, H.G. (2003), "Harmonic Linearization of the Shock Interaction Force in PD", *Journal Proceedings of AzTU*, Baku, Vol. II, No. 3, pp. 20-24.

9. Hasanov, M.H. (2017), "Multifunctional multichannel piezoelectric switch for optical networks". *Modern means of communication, Materials of the XXII International Scientific and Technical Conference, 19-20 October 2017, Minsk, Belarus*, pp. 16-17.

10. Hasanov, M.H. (2017), Physical and mathematical model of nonlinear piezoelectric transducers for linear displacements, *Actual problems of science and technology - 2017. X International scientific-practical conference of young scientists. Collection of conference materials. Publishing house "Neftegazovoye delo"*, Ufa, Russian, Vol. 1, pp. 292-293.

*Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"  
Заковоротный А.Ю.*

*Поступила (received) 15.11.2017*

Mehman Huseyn Hasanov, Cand. Tech. Sci., Associate Professor  
The Azerbaijan Technical University, Baku.  
Ave. G. Javida, 25, Az-1073, Azerbaijan  
Tel: + 994-(50)-211-22-83, email: mhasanovnew@gmail.com

Sadraddin G. Gardashov, senior teacher,  
The Azerbaijan Technical University, Baku,  
Ave. G. Dzhavida, 25, Az. 1073, Azerbaijan,  
email: sqardashov52@mail.ru

УДК 621.384.2

**Визначення оптимальних розмірів елементів п'єзоелектричного двигуна для оптичних комутаторів / Мехман Гусейн оглы Гасанов, Садраддин Гудбиддин оглы Гардашов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 50 (1271). – С. 25 – 35.**

Проаналізовано можливості застосування п'єзоелектричних приводів для комутації оптичних каналів і запропоновано метод частотного узгодження розмірів елементів мікроп'єзоелектричного двигуна для оптичних комутаторів. Ил.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** п'єзоелектричний привод; оптичний комутатор; частотне узгодження розмірів елементів; мікроп'єзоелектричний двигун.

УДК 621.384.2

**Определение оптимальных размеров элементов пьезоэлектрического двигателя для оптических коммутаторов / Мехман Гусейн оглы Гасанов, Садраддин Гудбиддин оглы Гардашов // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2017. – № 50 (1271). – С. 25 – 35.**

Проанализированы возможности применения пьезоэлектрических приводов для коммутации оптических каналов и предложен метод частотного согласования размеров элементов микропьезоэлектрического двигателя для оптических коммутаторов. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** пьезоэлектрический привод; оптический коммутатор; частотное согласование размеров элементов; микропьезоэлектрический двигатель.

UDC 621.384.2

**Determination of the optimum sizes of the piezoelectric motor elements for optical switches / Hasanov M.H., Sadraddin G.G. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2017. – №. 50 (1271). – P. 25 – 35.**

The possibilities of using piezoelectric drives for switching optical channels are analyzed and a technique for frequency matching of the sizes of elements of a micro-piezoelectric engine for optical commutators is proposed. Figs.: 2. Refs.: 10 titles.

**Keywords:** piezoelectric drive; optical switches; frequency matching of the sizes of elements; micro piezoelectric engine.