

С. Ф. Петренко¹, д.т.н., професор,С. А. Филимонов², к.т.н.,Н. В. Филимонова², аспірант,А. В. Батраченко², асистент,А. А. Лавданский², аспірант¹Директор ТОВ «Лилея»

ул. Луначарского, 3Г, г. Киев, 03056, Украина,

²Черкасский государственный технологический университет

б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина

sa.filimonov@mail.ru

ЛИНЕЙНЫЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ КРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ

Робота присвячена актуальним питанням вдосконалення лінійних п'єзоелектричних двигунів. Проведено аналіз існуючих аналогів лінійних п'єзоелектричних двигунів. Основними недоліками цих приводів є складна технологія виготовлення і відповідно висока вартість, а також обмежений діапазон переміщення і низька швидкість. Розроблено лінійний п'єзоелектричний двигун на основі п'єзоелемента кругової циліндричної пластини. Визначено амплітудно-частотну та вантажопідйомні характеристики. Конструктивне виконання штовхача на п'єзоелементі дозволяє максимально передавати енергію для здійснення переміщення. Закріплення п'єзоелемента на рухомій платформі дає необмежений діапазон переміщення. Виконання п'єзоелемента у вигляді кругової циліндричної пластини дозволяє змінювати силові характеристики п'єзоприводу, практично не змінюючи габарити.

Ключові слова: мотор, п'єзомотор, амплітудно-частотна характеристика.

Линейный двигатель используется для приводов измерительных устройств, таких как туннельные и электронные микроскопы, приводов манипуляторов различных сборочных роботов, а также исполнительных механизмов в технологическом оборудовании и бытовой технике [1-9].

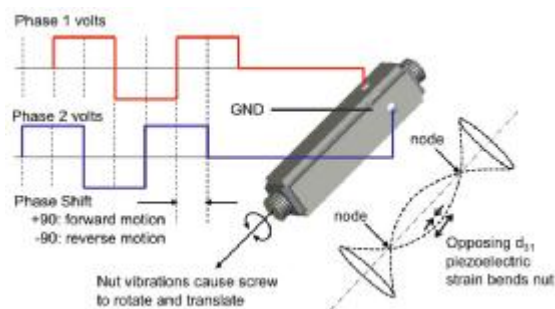
В этих устройствах широко используются электромагнитные, пьезоэлектрические и интегральные приводы, созданные по MEMS-технологии.

Основными недостатками электромагнитных приводов являются большие габариты, большое потребление энергии, инерци-

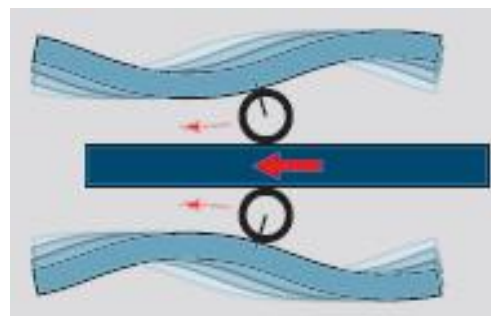
онность и низкая точность позиционирования. А недостатком приводов, созданных по MEMS-технологии, является малая выходная мощность.

Пьезоэлектрические приводы по сравнению с электромагнитными приводами, созданными по MEMS-технологии, обладают возможностью прямого позиционирования с субмикронной точностью, высоким выходным моментом, малым энергопотреблением, бесшумной работой и искровзрывобезопасностью.

Основные конструкции линейных пьезодвигателей представлены на рис. 1.



а)



б)

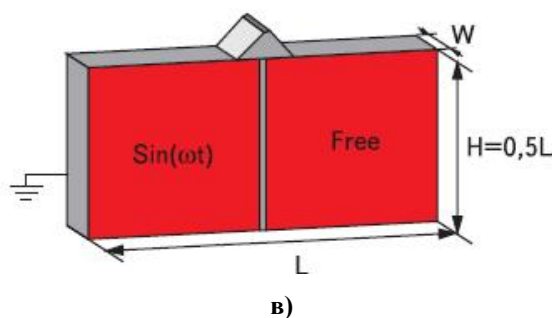


Рис. 1. Принцип работы линейных пьезокерамических актуаторов:

а) компании New Scale Technologies;

б) компании Piezomotor; в) компании Physik Instrumente

На рис. 1, а представлен линейный пьезоэлектрический двигатель американской компании New Scale Technologies [10]. Этот привод состоит из муфты прямоугольного сечения с внутренней резьбой и ходового винта (червяка). На гранях муфты смонтированы пьезокерамические пластины – актуаторы. Основными недостатками этого привода являются сложная технология изготовления и соответственно высокая стоимость, а также ограниченный диапазон перемещения и низкая скорость.

На рис. 1, б представлен линейный пьезопровод фирмы Piezomotor, так называемый Piezowave [11]. Основными компонентами этого привода являются два пьезоэлемента, между которыми находится подвижная платформа (каретка). Недостатками этого привода являются сложная система управления, сложная технология, ограниченный диапазон перемещения и низкая скорость.

На рис. 1, в представлен линейный пьезоэлектрический двигатель немецкой компании Physik Instrumente (PI) [12]. Основными элементами этого пьезомотора являются прямоугольная монолитная пьезокерамическая пластина (статор), керамический фрикционный наконечник (толкатель), закрепленный на ней, и каретка (на рисунке не показана). Основным недостатком этого привода является сложная технология сопряжения толкателя с пьезокерамической пластиной (статор) для максимальной передачи энергии каретки. Кроме этого, из рис. 1, в видно, что при изменении характеристик привода пропорционально изменяются его габариты ($H = 0,5L$).

Целью работы является совершенствование линейного пьезоэлектрического привода.

Авторами предложена конструкция линейного пьезоэлектрического привода на осно-

ве пьезоэлемента в виде круговой цилиндрической пластины, которая представлена на рис. 2.

Основным элементом разработанной конструкции линейного пьезопровода является пьезоэлемент в виде круговой цилиндрической пластины (статор) 1 с электродами 2-4. С одной стороны пьезоэлемент разделен на два электрода 2, 3. Толкатель 5 конструктивно выполнен на пьезоэлементе 1. При этом пьезоэлемент 1 закреплен на подвижной платформе 6.

Принцип работы разработанного линейного пьезоэлектрического привода на основе пьезоэлемента в виде круговой цилиндрической пластины заключается в следующем.

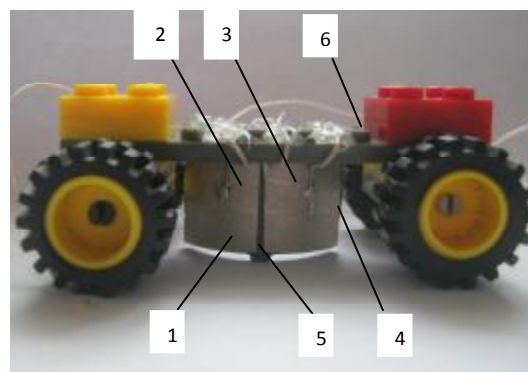


Рис. 2. Конструкция разработанного линейного пьезокерамического привода на основе пьезоэлемента в виде круговой цилиндрической пластины: 1 – пьезоэлемент; 2-4 – электроды пьезоэлемента; 5 – толкатель; 6 – подвижная платформа

Для осуществления перемещения в пьезоэлементе необходимо одновременно возбудить перпендикулярные несвязанные (или слабо связанные) колебания. Таким образом, конец пьезоэлемента (толкатель) будет выполнять движения по эллипсу [9].

В зависимости от направления движения левый или правый электрод пьезокерами-

ческого элемента возбуждается электрическими импульсами. Благодаря контакту толкателя с поверхностью обеспечивается сдвиг подвижной платформы вперед или назад. С каждым периодом колебаний пьезокерамического статора выполняется сдвиг подвижной платформы на несколько нанометров. Движущаяся сила возникает из-за продольно-поперечных колебаний в пластине статора.

Основные преимущества разработанной конструкции линейного пьезоэлектрического привода на основе пьезоэлемента в виде круговой цилиндрической пластины по сравнению с известными заключаются в следующем. Конструктивное исполнение толкателя на пьезоэлементе позволяет максимально передавать энергию для осуществления перемещения. Закрепление пьезоэлемента на подвижной платформе дает неограниченный диапазон перемещения. Выполнение пьезоэлемента в виде круговой цилиндрической пластины позволяет изменять силовые характеристики пьезопривода, практически не меняя габариты.

Механические характеристики будут определяться размерами пьезоэлемента, то есть длиной, шириной и толщиной. Изменяя кривизну пьезоэлемента, можно изменять длину пьезоэлемента.

Для эксперимента использовались цилиндрический пьезоэлемент из керамики ЦТБС-3 с размерами – внешний диаметр 30, внутренний диаметр – 26 и высота – 10 мм. Затем этот цилиндрический пьезоэлемент разрезали на три части. Полученная таким образом часть цилиндрического пьезоэлемента использовалась в качестве двигателя.

На рис. 3 представлена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) разработанного линейного пьезоэлектрического привода на основе пьезоэлемента в виде круговой цилиндрической пластины.

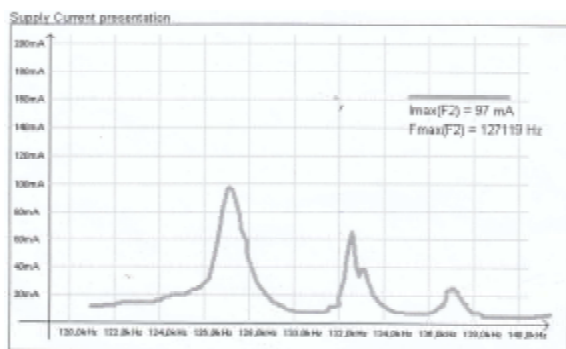


Рис. 3. АЧХ разработанного пьезодвигателя

Для определения частоты, на которой пьезодвигатель начинает перемещение, использовалась металлическая палочка с подшипником на конце. Край палочки, на которой расположен подшипник, ложится на толкатель. Как только частота генератора (драйвера) соответствует частоте, на которой возникают эллиптические движения толкателя пьезоэлемента, подшипник начинает вращение (рис. 4).

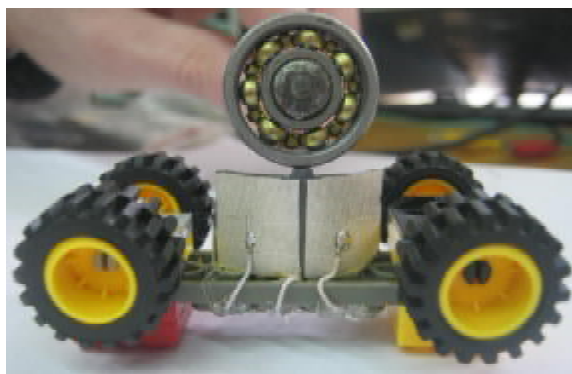


Рис. 4. Определение вращения пьезодвигателя при помощи подшипника

Также в данной работе была определена грузоподъемность разработанного пьезодвигателя (рис. 5).



Рис. 5. Грузоподъемность разработанного пьезодвигателя

Эксперименты показали, что при амплитудном значении напряжения 100 В и частоте возбуждения 127 кГц разработанный пьезодвигатель может перевозить груз массой 50 г со скоростью более 0,2 м/с. Движение осуществлялось по плоской поверхности.

Таким образом, этот привод можно использовать в качестве двигателя для миниатюрного робота, располагая на нем необходимые датчики, а также видеокамеру.

Выводы:

1. Разработан линейный пьезоэлектрический двигатель в виде круговой цилиндрической пластины, который обладает практически неограниченным диапазоном перемещения, меньшими габаритами по сравнению с аналогами.

2. Определена АЧХ и выбрана необходимая частота для вращения разработанного пьезоэлектрического актуатора.

3. Определена грузоподъемность разработанного пьезодвигателя, которая составила 50 г при 100 В.

4. В дальнейшем целесообразно исследовать температурные характеристики пьезодвигателя.

Список литературы

1. Цилиндрические пьезокерамические сканеры для наномикроскопов / В. М. Шарапов, А. Н. Гуржий, А. П. Алпатов, С. А. Филимонов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2006. – № 3. – С. 106–109.
2. Петренко С. Ф. Пьезоэлектрический двигатель / С. Ф. Петренко. – К. : Корнійчук, 2002. – 96 с.
3. Смирнов А. Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами / А. Б. Смирнов : учеб. пособ. – СПб : Изд-во СПбГПУ, 2003.
4. Панич А. Е. Пьезоэлектрическое приборостроение / А. Е. Панич, С. Н. Жуков // Пьезоэлектрические актуаторы. – Ростов-на-Дону : Изд-во ЦВВР, 2008. – Т. 4. – 159 с.
5. Sharapov, V. (2011) Piezoceramic sensors. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 498 p.
6. Бородулин А. А. Разработка радиоуправляемого робота на основе пьезокерамики / А. А. Бородулин, С. А. Филимонов // Автоматизация та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку : матеріали Всеукр. наук.-практ. Internet-конф. – Черкаси, 2013. – С. 42–44.
7. Моделирование пьезокерамического робота-актуатора / Филимонов С. А., Демченко В. О., Батраченко А. В., Филимонова Н. В. // Информатика, математика, авто-

матика IMA: 2012 : наук.-техн. конф. – Сумы, 2012. – С. 120.

8. Лавриненко В. В. Пьезоэлектрические двигатели / Лавриненко В. В., Карташев И. А., Вишневецкий В. С. – М. : Энергия, 1980. – 112 с.
9. <http://www.piezomotor.com.ua/>
10. <http://www.newscaletech.com/>
11. <http://www.piezomotor.com/>
12. <http://www.physikinstrumente.com/>

References

1. Sharapov, V. M., Gyrgiy, A. N., Alpatov, A. P. and Filimonov, S. A. (2006) Cylindrical piezoceramic scanners for nanomicroscopes. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichno-go universitetu*, (3), pp. 106-109. [in Russian].
2. Petrenko, S. F. (2002) Piezoelectric motor. Kyiv: Korniiichyk, 96 p. [in Russian].
3. Smirnov, A. B. (2003) Mechatronics and robotics. Systemss of microdisplacements with piezoelectric drives. St. Petersburg: SPbGPU [in Russian].
4. Panich, A. E. and Zhukov, S. N. (2008) Piezoelectric instrument engineering. In: Piezoelectric actuators. Rostov-na-Donu : Izd-vo ZVVR, vol. 4, 159 p. [in Russian].
5. Sharapov, V. (2011) Piezoceramic sensors. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 498 p.
6. Borodylin, A. A. and Filimonov, S. A. (2013) The development of radioguided robot on the basis of piezoceramics. *Avtomatyzatsiya ta computerno-integrovani technologii u vyrobnytviti ta osviti: stan, dosyagnennya, perspektivy rozvytku: materials of All-Ukrainian scient.-pract. Internet-conf. Cherkasy*, pp. 42-44 [in Russian].
7. Filimonov, S. A., Demchenko, V. O., Batrachenko, A. V. and Filimonova, N. V. (2012) Designing of piezoceramic robot-actuator. *Informatika, matematika, avtomatika IMA: 2012: scient.-tech. conf. Sumy*, p. 120 [in Russian].
8. Lavrinenko, V. V., Kartashov, I. A. and Vishnevskiy, V. S. (1980) Piezoelectric motors. Moscow: Energy, 112 p. [in Russian].
9. <http://www.piezomotor.com.ua/>
10. <http://www.newscaletech.com/>
11. <http://www.piezomotor.com/>
12. <http://www.physikinstrumente.com/>

Стаття надійшла до редакції 14.04.2014.

S. F. Petrenko¹, *Dr.Tech.Sc., professor,*

S. A. Filimonov², *Ph.D.,*

N. V. Filimonova², *postgraduate,*

A. V. Batrachenko², *assistant,*

A. A. Lavdanskiy², *postgraduate*

¹Director of LTD «Lileya»

Lunacharskogo str., 3G, Kyiv, 03056, Ukraine,

²Cherkasy State Technological University

Schevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

sa.filimonov@mail.ru

LINEAR PIEZOELECTRIC MOTOR BASED ON CIRCULAR CYLINDRICAL PLATE

The work is devoted to actual problems of the improvement of linear piezoelectric motors. Linear motor is used to drive measuring devices, such as tunneling and electron microscopes, manipulators of various drive assembly robots and actuators in equipment and household appliances. Existing analogues of linear piezoelectric motors are analyzed. Complex manufacturing technology and correspondingly high cost, and also limited range of movement and low speed are the main disadvantages of these drives. Linear piezoelectric motor is developed on the basis of piezoelements of circular cylindrical plate. Experimental model is built. Amplitude-frequency and load-carrying characteristics are determined. The design of piezopusher allows to maximize energy transfer for effective movement. Securing of piezoelectric element on mobile platform gives unlimited travel range. Performing of piezoelectric element as a circular cylindrical plate allows to change power characteristics of piezodrive without changing dimensions

Keywords: motor, piezomotor, amplitude-frequency characteristic.