Краткие сообщения

УДК 621.313.13-133.32

А.П. Мирошниченко, канд. техн. наук, А.Е. Шорохов

Особенности конструкций пьезоэлектрических двигателей

Рассмотрены особенности конструкций пьезоэлектрических двигателей с повышенными КПД и пусковым моментом, предложен вариант конструктивного исполнения двигателя, который позволяет вдвое увеличить частоту вращения с сохранением пускового момента.

The features of the piezoelectric motor designs with improved efficiency and starting torque are considered, suggested a version of application design, which allows doubling the speed while maintaining starting torque.

Ключевые слова: *пьезоэлектрический двигатель, пусковой момент, частота вращения.*

Введение

Перспективным направлением в области автоматизации и робототехники является использование электромеханических приводов на базе пьезоэлектрических двигателей. Отсутствие медных обмоток, возможность изготовления без использования магнитных материалов, надежность и долговечность, высокий КПД и хорошие массогабаритные показатели, широкий диапазон скоростей (от единиц до тысяч оборотов в минуту) и достаточно высокий пусковой момент (более 50 Н·м для низкооборотных двигателей) – вот далеко не полный перечень достоинств пьезоэлектрических двигателей [1]. Двигатели такого типа имеют еще одно существенное достоинство – возможность практически мгновенно выходить на рабочую скорость или останавливаться (высокие старт-стопные характеристики). Конструкторско-технологические возможности реализации пьезоэлектрических двигателей позволяют удовлетворять широкий диапазон требований. Все это даёт основание считать, что такие двигатели являются востребованными, а их применение, по сравнению с традиционными двигателям, в ряде случаев, является предпочтительным и выгодным.

Разработки, проводимые ведущими специалистами в этой отрасли, были акцентированы в основном на увеличение КПД и пускового момента пьезоэлектрических двигателей [2−5]. Однако частота вращения зачастую при этом оказывалась недостаточно высокой. Поэтому целью этой работы является создание новых конструктивных исполнений, направленных на повышение [6] и стабилизацию скорости вращения вала пьезодвигателя.

Анализ конструкций пьезоэлектрических двигателей

Для успешного применения пьезоэлектрических двигателей в конкретных устройствах они должны обладать определенными параметрами, основными из которых являются частота (скорость) вращения вала и пусковой момент. Значения этих параметров определяются, прежде всего, особенностями конструктивного исполнения пьезоэлектрических двигателей: углом приложения силы, пространственным размещением ротора относительно статора, активностью ротора или статора, и другими специфическими особенностями [1].

Последние разработки В.В. Лавриненко, С.Ф. Петренко, В.С. Коваля и других ведущих инженеров в этой отрасли были направлены на увеличение КПД и пускового момента пьезоэлектрических двигателей и привели к появлению ряда конструкций, обладающих преимуществами над известными аналогами.

На рис. 1 изображена конструкция нереверсивного пьезоэлектрического двигателя с пассивным ротором, обладающая повышенным (с 20 до 40 %) значением КПД [2].

Увеличение пускового момента и КПД двигателя достигается за счет установки в каждый толкатель дополнительной пластины повышенной жесткости, толщина которой минимум вдвое больше толщины упруго выгнутых пластин, а длина превышает половину длины упруго выгнутых пластин. Такие пластины ввиду выполняемой функции – гашение звуковых колебаний в толкателях – получили название демпферы. Данное конструкторское решение усиливает фрикционный контакт толкателей с пьезоэлементом, увеличивая КПД и пусковой момент двигателя.

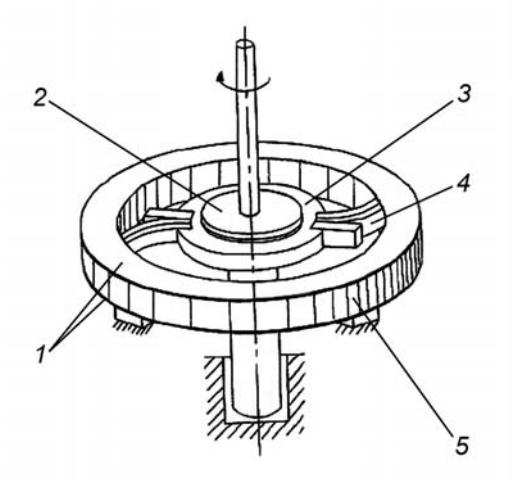

Рис. 1. Пьезоэлектрический двигатель с повышенным КПД: 1 − электроды; 2 – ротор; 3 − диск из прочного материала; 4 – толкатели; 5 – пьезоэлемент

Увеличение мощности пьезоэлектрического двигателя можно также достичь путем увеличения числа толкателей. Однако механические параметры пьезокерамических элементов вносят ограничение на предельно допустимое количество толкателей на единицу длины.

Для решения этой проблемы предлагается использовать конструкцию, представленную на рис. 2, обладающую защитным кожухом, который расположен на цилиндрической поверхности пьезокерамического элемента [3], либо конструкцию с дополнительным металлическим диском, механически соосно закрепленным на торцевой поверхностью пьезокерамического кольцевого элемента [4].

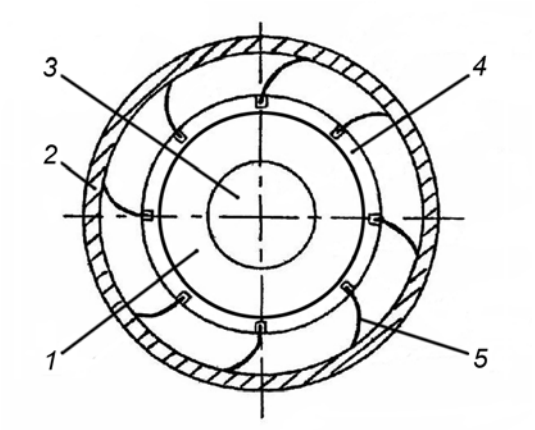

Рис. 2. Конструкция с защитным кожухом: *1* – пьезоэлемент; *2* – статор; *3* − вал; *4* – защитный кожух; *5* – толкатели

Оба этих способа не только повышают механический момент на валу двигателя, защищают пьезокерамический элемент от разрушения, увеличивая срок службы двигателя, но и существенно упрощают технологическую операцию крепления толкателей.

Увеличение пускового момента пьезодвигателя может быть достигнуто путем расширения ротора и статора [5]. Для повышения радиальной жесткости при увеличении диаметра ротора предлагается увеличить толщину ребер жесткости за счет перехода нижней цилиндрической части в дно. Увеличение же диаметра статора достигается за счет установки металлической резонансной шайбы с внешним диаметром большим, чем у пьезокерамического элемента. При этом на внешней цилиндрической поверхности резонансной шайбы устанавливаются пакеты толкателей с упором во внутреннюю цилиндрическую поверхность ротора.

Рассмотренные выше конструкторские решения акцентировались в основном на повышении пускового момента двигателя, однако частота вращения при этом в ряде случаев оказывалась недостаточно высокой. Это порождает необходимость проведения исследований возможности разработки новых конструктивных исполнений, направленных на повышение и стабилизацию скорости вращения вала пьезодвигателя.

«Двухроторная» конструкция пьезоэлектрического двигателя

Для обеспечения стабильности пускового момента при увеличении частоты вращения пьезоэлектрического двигателя авторами предлагается так называемая «двухроторная» конструкция [6], позволяющая за счет сложения скоростей вращения практически вдвое повысить частоту оборотов пьезоэлектрического двигателя (рис. 3).

Разработанная конструкция реализована на стандартном пьезокерамическом элементе из материала ЦТС-23 диаметром 28 мм. На обеих металлических шайбах скрепленных соосно с пьезокерамическим кольцом были установлены по 32 пакета толкателей (по 3 пластины в каждом). В режиме холостого хода частота вращения вала достигала 100 об/мин (при сохранении пускового момента в 4 Н·м), что в два раза превышало частоту вращения ближайшего аналога [4], где вместо второго диска с толкателями установлен так называемый противовес.

Параметры некоторых пьезоэлектрических двигателей, реализованных на основе рассмотренных конструкций, приведены в табл. 1.

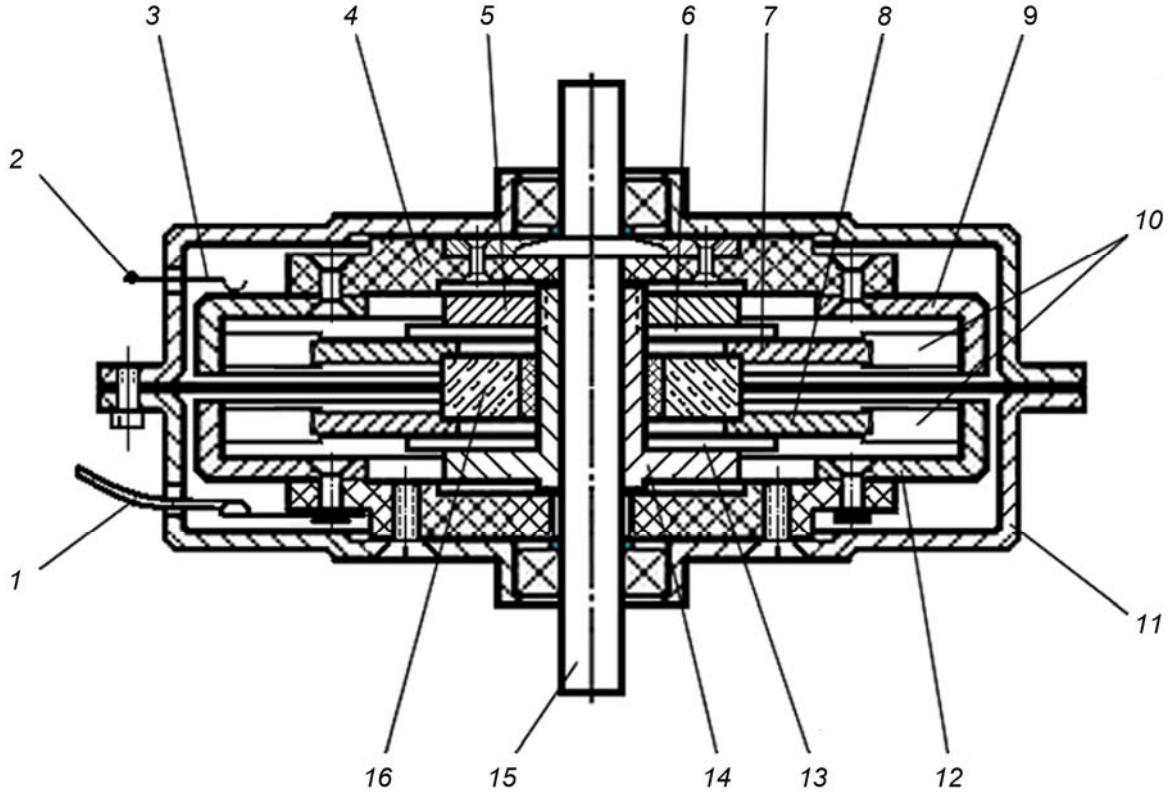

Рис. 3. Конструкция пьезоэлектрического двигателя с повышенной частотой вращения: *1, 2* – выводы; *3* – токосъемник; *4* – изолятор; *5* – гайка; *6* – звукоизоляционные прокладки; *7, 8* – стальные диски; *9* – стальной стакан; *10* – толкатели; *11* – корпус; *12* – стальной стакан; *13* – звукоизоляционные прокладки; *14* – болт; *15* – вал; *16* – пьезоэлемент

Таблица 1. Параметры конструкций пьезоэлектрических двигателей

Описание конструкции	Пусковой момент, Н·м	Частота вращения, об/мин	Габариты: диаметр / высота, мм
Нереверсивный пьезодвигатель с пластинами-демпферами в толкателях [2]	14,0	600	65 / 15
Пьезодвигатель с защитным кожухом [3]	11,0	200	50 / 35
Пьезодвигатель с соосным металлическим диском [4]	4,0	50	80 / 15
Пьезодвигатель с ротором и статором увеличенных размеров [5]	10,5	50	50 / 55
Пьезодвигатель – «двухроторная» конструкция [6]	4,0	100	80 / 22

Выводы

Анализ конструкций низкооборотных пьезоэлектрических двигателей, в которых преимущественно преследовалась цель повышения КПД и пускового момента, показал необходимость разработки способа, направленного на повышение и стабилизацию скорости вращения вала пьезодвигателя. Результатом этого стало создание «двухроторной» конструкции, позволяющей удвоить скорость вращения вала, сохранив при этом значению пускового момента.

Однако следует отметить, что решение проблем связанных с обеспечением более точных значений параметров пьезоэлектрических дви-

гателей («подстройка» отдельных параметров характерных для конкретного конструктивного решения), обеспечение их стабильности или управление ими может быть достигнуто, очевидно, только за счет электронного управления параметрами схем питания пьезоэлектрических двигателей.

Литература

1. *Лавриненко В.В.*, Карташев И.А., Вишневский В.С. Пьезоэлектрические двигатели: Монография. – М.: Энергия, 1980. – 112 с.
2. *Пат.* 66632 Україна, МПК[7] H02N 2/00, H01L 41/09. П'єзоелектричний двигун / В.С. Коваль, В.В. Лавріненко, А. Тишко, В.М. Хорунжий; власник патенту «Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № 2003087665; Заявл. 13.08.2003; Опубл. 17.05.2004, Бюл. № 5. – 4 с.
3. *Пат.* 57167 Україна, МПК[7] H02N 2/00, H01L 41/09. П'єзоелектричний двигун / С.Ф. Петренко. – № 2001053498; Заявл. 24.05.2001; Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6. – 5 с.
4. *Пат*. 20182 Україна, МПК[9] B81B 5/00, B81B 3/00. П'єзоелектричний двигун / В.С. Коваль, В.В. Лавріненко, О.В. Левицький; власник патенту «Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № 4875084/SU. Заявл. 15.10.1990; Опубл. 25.12.1997, Бюл. № 6. – 4 с.
5. *Пат.* 76775 Україна, МПК[8] H02N 2/00, H01L 41/09. П'єзоелектричний двигун / В.В. Лавріненко, В.С. Коваль, С.Ф. Петренко; власник патенту Товариство з обмеженою відповідальністю «Лілея». – № 20040402928. Заявл. 13.04.2004; Опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9. – 4 с.
6. *Пат.* 65670 Україна, МПК[9] H02N 2/00, H01L 41/09. П'єзоелектричний мотор / В.В. Лавріненко, А.Є. Шорохов, А.П. Мірош-ниченко; власник патенту Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № 201106666; Заявл. 27.05.2011; Опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23. – 3 с.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Поступила в редакцию 02 ноября 2011 г.