

«Микропривод» предлагает серию Piezo LEGS пьезоэлектрических моторов (пьезодвигателей)



В статье разбирается принцип работы пьезодвигателей. Рассмотрена продукция Piezo LEGS шведского производителя PiezoMotor, объяснены ее преимущества, показаны новые возможности, которые дает пьезодвигатель, такие как точность позиционирования, плавный ход, энергоэффективность и пр.

ООО «Микропривод», г. Москва

Российская компания «Микропривод» была создана в 2005 году на базе подразделения предприятия, с 1994 года поставлявшего электромоторы и системы управления для робототехнических комплексов и дистанционной инспекции трубопроводов. В настоящее время ООО «Микропривод» успешно продвигает на рынке РФ продукцию известных международных производителей (в том числе FAULHABER, Phytion, Copley Controls, PiezoMotor, Nanotec) для ответственных движущихся узлов в медицинской технике, системах обеспечения безопасности, добывающей промышленности, в аппаратуре для видеосъемки, мобильной робототехнике, метрологическом оборудовании, вакуумных установках, на исследовательских стендах и т.д. Но в данной публикации мы хотим представить решение Piezo LEGS (дословно «пьеzo-ноги», и чуть ниже станет понятно, что такое название выбрано неслучайно) шведской компании PiezoMotor, лидирующей в области выпуска микромоторов на основе пьезоэлектрических материалов.

«Пьеzo» в переводе с греческого означает «давление». Этим словом братья Жак и Пьер Кюри нарекли так называемый прямой эффект, то есть формирование электрического заряда при приложении давления к кристаллам. Обратный эффект (деформация материалов под воздействием электрического поля) был открыт ими же чуть позже. Приводы (моторы, двигатели) на основе обратного пьезоэлек-

трического эффекта широко используются в технике, когда необходимо высокоточное линейное или угловое перемещение, например в системе позиционирования магнитной головки накопителя на жестких магнитных дисках или в механизме электрического управления объективом зеркальных фотоаппаратов. На российском рынке такие моторы присутствуют не менее десяти лет, в течение которых мы так и не определились с их унифицированным названием: ультразвуковой двигатель, пьезодвигатель, пьезомагнитный двигатель, пьезоэлектрический двигатель. Как, впрочем, не определились с названием и в английском языке: Ultrasonic Motor (USM), Silent Wave Motor (SWM), Hyper Sonic Motor (HSM), Supersonic Direct-drive Motor (SDM) и т.д. Поэтому, обсуждая продукцию

компании PiezoMotor (рис. 1), воспользуемся термином «пьезоэлектрический двигатель» (пьезодвигатель), представляющим собой практически точный перевод термина piezoelectric motor, который использует данный изготовитель.

Компания PiezoMotor специализируется на пьезоэлектрических двигателях для специальных областей применения. Например, в 2019 году ожидается запуск студенческого спутника с таким пьезодвигателем на борту, а в 2018 году PiezoMotor предоставила заказанный одной неназванной крупной телекоммуникационной компанией прототип специально разработанного для массового выпуска микромотора. В принципе это характерно и для других изготовителей пьезоэлектрических двигателей. Ведь пьезоприводы проигрывают



Рис. 1. Продукция компании PiezoMotor

обычным электромагнитным двигателям по мощности, а микромоторам MEMS – по габаритным размерам. Но не забудем и об основном достоинстве пьезоэлектрических двигателей – невероятной точности позиционирования. Если говорить о серии Piezo LEGS, появившейся в прошлом году, то можно отметить, что эти линейные/угловые пьезодвигатели обеспечивают усилие от нескольких единиц до 450 ньютонов. Они отличаются точностью позиционирования (разрешением) в несколько нанометров и прямым фрикционным приводом без люфта. Рассмотрим достоинства Piezo LEGS подробнее.

► **Миниатюризация.** Прямой привод устраняет необходимость в каких-либо редукторах или механических трансмиссиях, причем высокая точность таких пьезодвигателей позволяет повысить миниатюризацию литографического процесса изготовления интегральных микросхем.

► **Высокая точность.** В измерительных приборах, точном машиностроении и медицине очень жесткие допуски на позиционирование. Однако их легко обеспечить линейными пьезодвигателями Piezo LEGS с нанометровым диапазоном точности, малым временем срабатывания и отсутствием свободного хода.

► **Удерживающая сила.** Особенность Piezo LEGS, как впрочем и других линейных пьезодвигателей, состоит в том, что приводные ноги сжимаются при приложении электрического поля, поэтому при снятом напряжении питания формируется максимальное фрикционное усилие, препятствующее сдвигу приводного штока. Более того, удерживающая сила обычно на 10% выше номинальной силы стопорения.

► **Немагнитные свойства.** Пьезодвигатели Piezo LEGS не имеют обмоток, поэтому не являются источником магнитного потока. Корпус из нержавеющей стали обеспечивает для такой оболочки ферритовые свойства, экранирующие от внешних магнитных полей. Поставляются полностью немагнитные модели пьезодвигателей в корпусе и со всеми деталями из немагнитных сплавов. Такие версии могут использоваться даже в рабочей области магнитно-резонансных томографов (МРТ) без нарушения томографического изображения,



Рис. 2. Четыре этапа работы линейных пьезодвигателей

поскольку немагнитные моторы Piezo LEGS создают плотность магнитного потока менее 1 нанотеслы на расстоянии 10 мм от корпуса.

► **Плавный ход.** Пьезодвигатели Piezo LEGS могут плавно работать даже на сверхнизких скоростях. Например, при перемещении со скоростью 50 нанометров в секунду на путь длиной 50 мм потребуется примерно 280 часов. Это достигается очень коротким шагом смещения приводного штока. Дело в том, что полный шаг длиной в одну длину волны управления (waveform step) можно делить на микрошаги вплоть до долей нанометра.

► **Энергетическая эффективность.** Традиционные системы моторного привода нанометрового допуски требуют существенных энергетических затрат практически во всех аспектах своей работы, в том числе для улучшения допуска, упругости, люфта, времени отклика и т. д. Существенные затраты потребуются и просто для удержания на одном уровне с противодействующей силой, а кроме того,

нужны повышенные энергозатраты в начале движения, практически без какого-либо полезного перемещения. Пьезодвигателям Piezo LEGS, напротив, в режиме удержания не требуется энергии, а время их отклика можно считать практически нулевым.

Чтобы понять причины таких достоинств, нужно рассмотреть принцип работы пьезодвигателей, например, на основе моделей LL10/LL06. Такая модель оснащена четырьмя приводными ногами (рис. 2), которыми она перебирает, как насекомое, чтобы сдвинуть изображенный сверху приводной шток вправо. Если ноги не запитаны, они стоят вертикально и не наклонены. При этом конструктивно сделано так, что они прижаты к приводному штоку, который даже при внешнем воздействии сохраняет свое положение за счет удерживающей силы. Если приложить электрическое поле, возможен наклон ног с сохранением фиксированного положения за счет силы стопорения (можно считать ее толкающим усилием). Величины удержания и стопорения различаются, поэтому указаны отдельно в технических характеристиках.

Чтобы сдвинуть приводной шток, нужно приложить электрическое воздействие не только для изгибания (наклона) ног, но и для их втягивания. На самой верхней панели рис. 2 показано, что все четыре ноги активированы электрически, поэтому сохраняют «длинное» состояние и сгибаются вправо, смещая туда же шток. Но такое перемещение будет коротким. Чтобы удлинить перемещение штока, ноги должны синхронно работать парами. На втором рисунке, сверху, первая пара ног сохраняет фрикционный контакт со штоком, смещая его вправо, а вторая пара втягивается и смещает свои кончики влево, чтобы «перехватить» шток. На следующем рисунке эта вторая пара выдвигается и зацепляет шток, а первая пара втягивается и смещает контактные кончики влево. На последнем рисунке эта вторая пара смещается вправо, а первая пара начинает выдвигание для «подхвата» штока.

Этот легкомысленный на первый взгляд принцип работы разительно отличается от обычных электродвигателей по техническим характеристикам за счет полного отсутствия преобразования вращательного дви-



Рис. 3. Внешний вид модели LL10 из немагнитных материалов для эксплуатации в вакууме

жения в прямолинейное, а от пьезодвигателей предыдущего поколения – так называемым «нерезонансным» типом, поскольку теперь положение каждой ноги известно в любой момент времени по приложенному к ней электрическому воздействию, что гарантирует точное управление во всем диапазоне скоростей. Конструкция LL10 (рис. 3) предполагает использование двух прижимных свободно вращающихся подшипников, причем ноги пьезодвигателя находятся в корпусе ниже горизонтального приводного штока.

Модель LL06 является базовой, но может комплектоваться датчиком положения и направляющими. Модель LL10 предназначена для специального применения, поэтому изготовлена из немагнитных материалов и может работать в вакууме (с разрежением до 10^{-7} торр, или более привычных в нашей стране миллиметров ртутного столба, что в любом случае означает условия открытого космоса).

Управление LL10/LL06 производится по пяти контактам (четыре

фазы и общая «земля»). В моделях с датчиком есть специальный разъем для работы с ним. Линейные пьезодвигатели от PiezoMotor выпускаются на 6, 15, 20, 40, 300 и 450 Н (примерно 45 кгс), причем последняя модель будет уже весом более килограмма с габаритами $98 \times 50 \times 50$ мм (рис. 4) и более резким падением допустимой длины шага от противодействующей силы. Кроме того, будут различаться контроллеры для управления пьезодвигателями.

К сожалению, пьезодвигателям нужен специальный контроллер, причем в отсутствии стандартизации подойдет только контроллер компании-изготовителя. PiezoMotor предлагает контроллеры нескольких моделей, которые не являются унифицированными даже в пределах серии Piezo LEGS. Для рассмотренных моделей LL06/LL10 подойдут контроллеры трех типов, в том числе базовый вариант PMD301, который позволяет управлять в цепи с обратной связью (если LL06 комплектуется датчиком) или без нее (например, для LL10). Шаг по длине волны можно делить на

8192 микрошагов в системе одноосевого привода, чтобы достичь субнанометровой точности позиционирования. Для формирования многоосевых приводов потребуется последовательное соединение нескольких контроллеров. PMD301 может работать автономно или вместе с внешним персональным компьютером при связи по двухпроводному интерфейсу RS-485 или через виртуальный порт COM поверх USB.

Выход контроллера/усилителя PMD301 и вход двигателей Piezo LEGS согласованы, причем в терминологии



Рис. 4. Наиболее мощный линейный пьезодвигатель серии Piezo LEGS на 450 Н

компании PiezoMotor фаза (phase) управления означает пьезоэлектрическую приводную ногу (piezoelectric actuator leg), поэтому каждой приводной ногой можно управлять независимо. Согласованные в рамках общей волны перемещения ног через фрикционный контакт преобразуются в линейное перемещение штока (в линейных пьезодвигателях) либо в угловое перемещение ротора (и в этом случае появляется возможность работы в непрерывном режиме).

Выше уже отмечалось, что эксплуатация пьезодвигателя невозможна без контроллера, поэтому для первоначального знакомства предложен специальный комплект Starter-kit Piezo LEGS, в состав которого входят уже знакомый нам пьезодвигатель LL06 (в комплектации со встроенным датчиком положения), плата контроллера, соединительная плата и комплект кабелей.

Таблица 1. Характеристики линейных пьезодвигателей моделей LL06 и LL10

Параметр	LL06	LL1011D
Максимальный ход, мм	73,9	80
Длина штока, мм	26,9	20,8
Диапазон скоростей, мм/с	0...15	0...15
Длина шага на длину волны, мкм	4	4
Длина микрошага, мкм	0,0005	0,0005
Точность, нм		<1
Рекомендованный рабочий диапазон, Н	0...3	0...3
Сила стопорения (stall), Н	6,5	6,5
Удерживающая сила (hold), Н	7	7
Относительная потребляемая мощность, мВт/Гц	5	5
Габаритные размеры, мм	23,4 × 19,6 × 10,35 (с направляющими и датчиком) 17 × 19,6 × 7 (без направляющих и датчика)	22 × 19,3 × 10,8
Масса, г	16	23
Рабочая температура, °С	-20...+70	-20...+70

ООО «Микропривод», г. Москва,
тел.: +7 (495) 221-4052,
e-mail: info@microprivod.ru,
сайт: www.microprivod.ru