

Модульный Шаговый Пьезоэлектрический Актуатор - Универсальный способ перемещения для микро-позиционирования -

F. Dubois^{1,2}, F. Barillot¹, V. Thiebaud¹, C. Belly¹, T. Porchez¹, M. Barraja¹, A. Saulot², Y. Berthier².

¹Cedrat Technologies SA, Meylan, France

²LaMCoS UMR 5259, Université de Lyon, INSA-Lyon, Villeurbanne, France

Аннотация:

Шаговые пьезоэлектрические актуаторы (Stepping Piezoelectric Actuator - SPA) основаны на принципе движения за счет инерции и трения (Piezoelectric Friction-Inertial Actuation - PFIA) и изготовлены на основе пьезоэлектрических актуаторов с интегрированным рычажным механизмом (Amplified Piezoelectric Actuator - APA) производства компании Cedrat Technologies. Они используют принцип скачкообразного движения для объединения позиционирования с высокой разрешающей способностью (< мкм) и большого запаса хода (> см) при малых габаритах (< 15 см³). Эти двигатели используются в оптоэлектронных, медицинских и оборонных задачах. Однако постоянно стирающийся контакт между штифтом и зажимом ограничивает потенциальное развитие SPA технологии. В данной работе представляется новая концепция, которая называется модульным SPA (Module SPA - MSPA). Она обеспечивает большие возможности хода (> 10 см), упрощает разработку многоосевых механизмов и возможности миниатюризации. Представлены результаты, полученные на трех инновационных инженерных моделях: актуатор для линейного перемещения с большим ходом, актуатор вращения и механизм с тремя степенями свободы. Таким образом, описываются действительные преимущества данной концепции и демонстрируются возможности для применения в новых областях, таких как промышленное применение и медицинские приборы.

Ключевые слова: пьезоэлектрический двигатель, микро-позиционирование, многокоординатное движение.

Введение

Пьезоэлектрические актуаторы трения-инерции [1] SPA используют принцип скачкообразного движения для позиционирования с высокой разрешающей способностью (< мкм), большого хода (> см) при малых габаритах (< 15 см³) [2]. Эти двигатели состоят из четырех основных элементов: APA, инерционная масса, шток и зажим [3]. В данной работе, во-первых, выделяются ограничения существующей конфигурации вал / зажим. Далее описывается концепция MSPA с его отличительными особенностями. И, наконец, представлены три инженерные модели: линейное перемещение с увеличенной длиной хода, вращение и трехосевой механизм – для демонстрации преимуществ этой концепции и доказательства возможности миниатюризации.

Научный контекст

Принцип PFIA

Принцип PFIA двигателя SPA основан на эффекте прерывистого скольжения. На *Рисунке 1* А-Б показаны две фазы, необходимые для осуществления шага; чередование медленно возрастающего и быстро падающего напряжения обеспечивает чередование эффекта трения и прерывистого скольжения, что обеспечивает пошаговое перемещение полезной массы. При повторении этой операции может быть достигнут ход величиной в несколько миллиметров. Обратное движение осуществляется путем инвертирования последовательности напряжения медленно-быстро. SPA обеспечивает высокую блокирующую силу в состоянии покоя, обеспечивает возможность микронного и субмикронного позиционирования и обладает высоким потенциалом миниатюризации и немагнитных свойств.

Ограничения конфигурации Вал-Зажим SPA

В предыдущих двигателях SPA, вал был заключен в зажим. Зажим перемещался за счет силы инерции и фиксировался за счет силы трения на различном расстоянии от APA. Это ограничивало величину хода двигателя и уменьшало силу при удалении зажима от APA. Кроме того, при установке пьезо двигателя в сборку (при работе с направляющей) появлялся гиперстатизм. Т.е. на направляющей появлялись

перпендикулярные силы и силы кручения, вызванные неидеальным прямолинейным перемещением защелки на штоке двигателя.

Кроме того, шум и паразитные вибрации усиливались различными частями корпуса сборки.

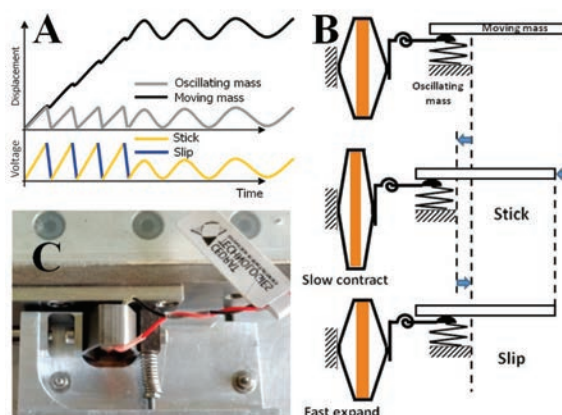


Рис. 1: MSPA двигатель: А – принцип прерывистого скольжения, В-схематическое изображение и С- предварительный макет.

Концепция MSPA

Для сравнения, MSPA освобождает трущийся контакт и расстояние между силой трения и электромеханической силой APA становится локализованным (см. *Рис. 1 В-С*). Таким образом, полезная нагрузка может приводиться в движение с помощью сил трения и инерции и осуществлять линейное или вращательное движение в зависимости от направляющей. Такая конфигурация позволяет устранить ограничения первого поколения SPA, обладая при этом значительно увеличенным ходом и большей универсальностью.

Кроме того, в MSPA как и в конструкции вал-зажим, сохраняются такие основные характеристики, как высокая удерживающая сила в состоянии покоя, немагнитные свойства, микронное и субмикронное позиционирование.

Проекты

Для того чтобы подчеркнуть преимущества этой концепции были разработаны три инженерные модели. На основе одной конструкции (см. Рис. 1.C) могут быть реализованы различные направления движения, в зависимости от направляющей.

Предварительный макет линейного MSPA

На Рис.2 показан предварительный макет MSPA с линейной направляющей с ходом 10 см. Такой ход может быть достигнут с контактом pin-on-rod (контактная точка на поверхности трения). Гиперстатизм появляется, когда перемещение одной каретки-зажима осуществляется по двум неидеально параллельным направляющим. В MSPA гиперстатизм отсутствует, т.к. он не использует дополнительную направляющую между трущимся контактом вал-защелка и линейной направляющей, поэтому проще выдерживать допуски по параллельности.

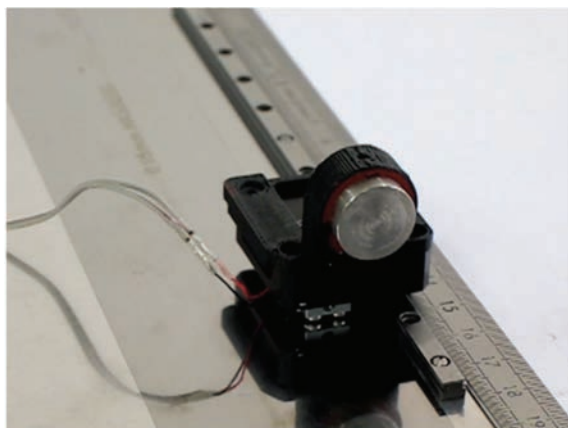


Рис. 2: Предварительный макет линейного MSPA с ходом 10см

Поэтому, несмотря на небольшую асимметрию между положительной скоростью (16,9 мм/с, см. Рис. 3) и отрицательной скоростью (16,3 мм/с), конфигурация MSPA обладает увеличенной стабильностью скорости и увеличенной рабочей силой. Также это более простое решение с точки зрения концепции, производства и интеграции.

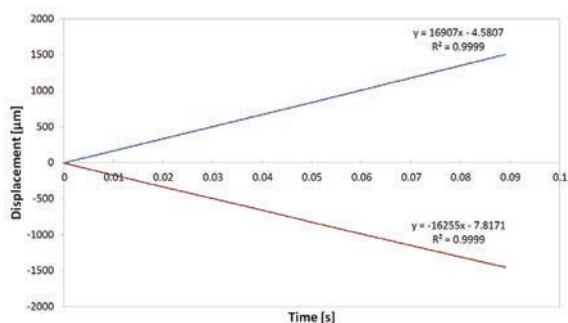


Рис. 3: Кривые перемещения вперед и назад

Инженерная модель поворотного MSPA

Для случая поворотного подшипника, на Рис. 4 показан поворотный MSPA. Так же как и для предыдущего случая предварительного макета линейного перемещения, обеспечивается ход в диапазоне 10 см.



Рис. 4: Инженерная модель поворотного MSPA с большой величиной хода

В отличие от классического шагового SPA, этот разработанный поворотный MSPA обеспечивает постоянную скорость без люфтов при положительном и отрицательном перемещении (см. Рис. 5). Кроме того, был встроены датчик линейного перемещения с высокой разрешающей способностью и был разработан замкнутый контур. Таким образом, среднеквадратическая ошибка, измеренная во всем диапазоне перемещений, обеспечивает точное управление и при этом обеспечивается повторяемость в диапазоне от $0,0010^\circ$ до $0,0036^\circ$.

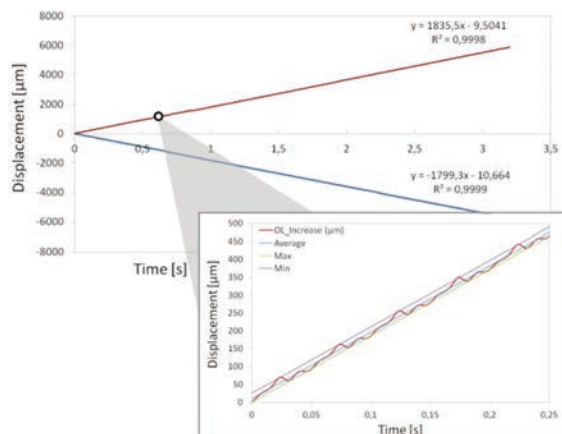


Рис. 5: Кривые перемещений вперед и назад + практически линейная картина шагового перемещения

Трехосевая инженерная модель MSPA

Используя возможность концепта SPA обеспечивать удерживающую силу при выключенном питании, в качестве направляющей может использоваться сам интерфейс трения. На Рис. 6 изображен трехосевой MSPA, реализующий два поворотных и одно линейное вертикальное перемещения. В механизме реализованно вертикальное перемещение, а также путем комбинации перемещений R_y , R_x и T_z в итоге реализуются горизонтальные перемещения T_x и T_y . Что касается поворотного поворотного MSPA, то каждый актуатор оснащен датчиками высокого разрешения.

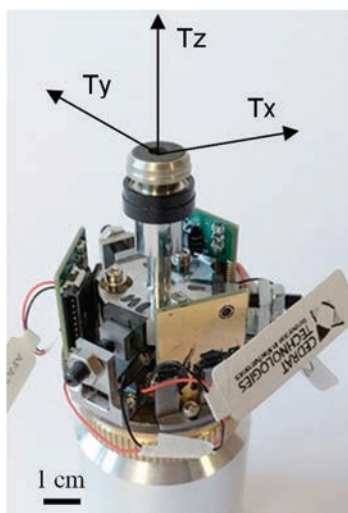


Рис. 6: Трехосевой инженерный образец MSPA

Трехосевой MSPA, и стандартные Шаговые Пьезо Актуаторы SPA хорошо известны благодаря их возможности обеспечивать движения с очень высоким разрешением при большой величине хода. Эта возможность обусловлена совместным использованием шагового режима и режима деформации. Было проведено описание возможностей позиционирования механизма. Для измерения малых угловых перемещений использовался автоколлиматор от TriOptics. Он обеспечивает разрешение доли мкрад, что является полезным для измерений актуатора с тремя осями. На Рис. 7 указано угловое изменение положения механизма после внешнего возмущения. Измеренная максимальная ошибка повторяемости углового позиционирования по двум осям, после внешних воздействий, находится на уровне менее 10 мкРад.

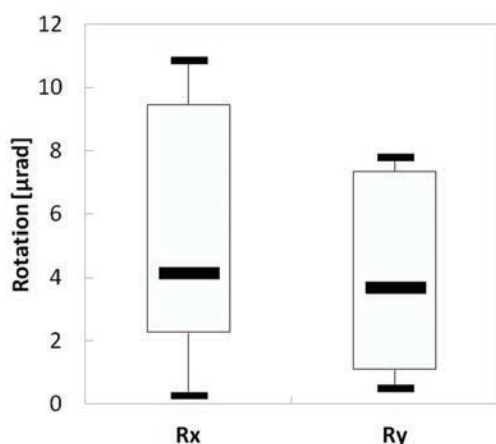


Рис. 7: Точное угловое позиционирование в замкнутом контуре после воздействия внешних возмущений

Технологические ограничения и перспективы

Дальнейшее развитие заключается в

- Подтверждение работоспособности при тяжелых условиях,
- Продлении срока службы,

Для этого, во-первых, будет использована термо-вакуумная камера Cedrat Technologies для описания свойств характеристик MSPA в тяжелых условиях труда для проверки тепловой стабильности и износа в течение всего срока службы актуатора. После того, как эти шаги будут реализованы, будет проведено трибологическое исследование с целью продлить срок службы MSPA в тяжелых условиях.

Заключение

В этой публикации представлена новая концепция движения для микро-позиционирования, представлен pin-on-rod (контактный пин на поверхности трения) и результаты испытаний; представлены три механизма, основанные на этой концепции. Как и в случае предыдущих конструкций SPA, эта новая концепция сохраняет высокую удерживающую силу в состоянии покоя, высокое разрешение при позиционировании, является надежным, позволяет устанавливать датчики и обладает потенциалом миниатюризации.

Кроме того, получены большие величины хода и теперь отсутствуют ограничения, связанные с размером направляющей в случае линейного движения. Так как направляющая двигателя не дублирует шток двигателя, то отсутствует гиперстатизм, т.е. уменьшается избыточность между направляющей и осями. Поэтому стабильность скорости и сила увеличены вдоль всего хода. Концепция, производство и интеграция реализуются более просто. И, наконец, универсальность такой концепции позволяет также быстро и эффективно реализовывать специализированные многоосевые конструкции, а также обеспечивает возможность миниатюризации.

Ссылки

- [1] ZM Zhang, Q An, JW Li, and WJ Zhang. Piezoelectric friction-inertia actuator - a critical review and future perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(5-8):669–685, 2012.
- [2] F. Claeysen, A. Ducamp, F. Barillot, R. Le Letty, T. Porchez, O. Sosnicki, and C. Belly. Stepping piezoelectric actuators based on APAs. *Actuator*, 2008.
- [3] C. Belly and W. Charon. Benefits of amplification in an inertial stepping motor. *Mechatronics*, 22(2):177–183, March 2012.

Контактные данные:

ООО "Промышленная метрология"
<http://metrology-spb.ru/>
 тел. +7 (812) 438-17-18 (доб. 115)
 факс +7 (812) 438-17-21
 моб: +7 (950) 023-73-89
 e-mail: karev_p@metrology-spb.ru