МИНИАТЮРНЫЕ ПЬЕЗО МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

R. Le Letty[(1)], F. Barillot[(1)], H. Fabbro[(1)], F. Claeyssen[(1)], Ph. Guay[(2)], L. Cadiergues[(2)]
[(1)] CEDRAT TECHNOLOGIES, 10 ch. de Pré Carré, ZIRST, F-38246 Meylan Cedex, actuator@cedrat.com
[(2)] CNES/DTS/TV/MS, 18 Av. E. Belin, F-31041 Toulouse Cedex 9, philippe.guay@cnes.fr

Аннотация
Пьезоактуаторы начали применяться в активной оптике в космосе. Цель этой статьи состоит в описании некоторых современных примеров применения. Пьезоактуаторы обладают привлекательными свойствами для космических применений. Они обеспечивают точное позиционирование, не требуют смазки, обладают немагнитными свойствами, являются малогабаритными и демонстрируют низкое энергопотребление. Однако, пьезомеханизмы не могут рассматриваться отдельно от задающей и управляющей электроники. Пьезоактуаторы, такие как пьезоактуаторы с интегрированным рычажным усилителем перемещения APA (сокращение от «Amlified Piezo Actuators») и параллельно преднагруженные актуаторы PPA (сокращение от «Parallel Pre-stressed Actuators») были разработаны по заказу Французского Космического Агентства (далее «ФКА»). Впервые эти пьезоактуаторы применялись в оптической системе в миссии PHARAO Европейского Космического Агентства (далее «ЕКА») для решения следующих задач:
- Точное наведение лазерных лучей,
- Настройка оптического лазерного резонатора.
Также был протестирован прототип механизмов на основе пьезоактуаторов для осуществления фокусировки.
Пьезоактуаторы применяются и в других областях: улучшение разрешения матрицы по технологии микро сканирования с повышенной частотой, как в инструменте SOHO/LASCO; высокоскоростная работа пьезоэлектрических шторок в синхротронах; оптический фильтр, совмещенный с интерферометром Фабри-Перо, как в лидаре для наблюдения за поверхностью Земли. Далее будет подробно описано первое применение технологии микро сканирования и представлен краткий обзор оставшихся областей применения.

Ключевые слова: пьезоэлектрический, актуатор, механизм, космос, оптика

Введение

Пьезоэлектрические актуаторы [1] обладают привлекательными свойствами для космических применений. Они обеспечивают точное позиционирование, не требуют смазки, обладают немагнитными свойствами. Это ведет к малым габаритам механизмов. Однако характеристики пьезоэлектрических механизмов не могут рассматриваться отдельно от их задающей и управляющей электроники. Другие аспекты, которые обычно требуют внимания: механические условия окружающей среды (пьезоактуаторы могут обладать добротностью 100); термомеханические характеристики и рассмотрение ухудшенных режимов в случае поломки.
Имеется возможность построить пьезоактуаторы с интегрированным рычажным усилителем перемещения APA и параллельно преднагруженные актуаторы PPA на основе многослойной пьезокерамики, которая была квалифицирована ФКА для космических применений.
Эти компоненты могут быть использованы для построения механизмов, работающих с одной или более степенями свободы. Цель этой статьи привести примеры разработок и применений космической оптики.

Разработка нормально центрированных механизмов

Введение

Компания CEDRAT TECHNOLOGIES за последние несколько лет разработала и квалифицировала ряд нормально центрированных механизмов на основе пьезоактуаторов с интегрированным рычажным усилителем перемещения APA. Нормально центрированные механизмы в случае отключения питания или в случае поломки позволяют фиксировать полезную нагрузку в центральном положении. Эта особенность помогает при работе в ухудшенном режиме и помогает избежать ситуации, когда при поломке компонента выходит из строя вся система, что часто рассматривается для механизмов.

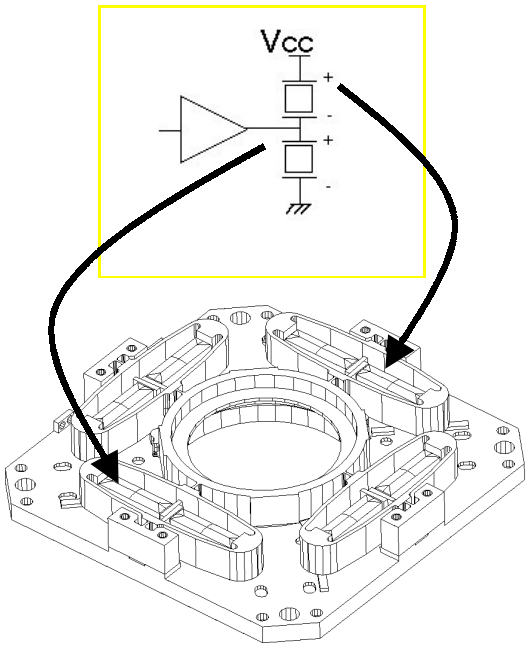

Рис.1 *Схема двухтактной конфигурации*

Сами пьезоактуаторы обеспечивают 90% хода в одном направлении и оставшиеся 10 % в другом направлении, поэтому они не являются центрированными механизмами.
Нормально центрированные характеристики достигаются применением пьезоактуаторов в двухтактном режиме **(Рис.1)**.

Пьезоактуаторы с интегрированным рычажным усилителем перемещения впервые были использованы в летном применении в сканирующем механизме (XYZ сборка) для ROSETA/MIDAS [2]. Они были квалифицированы в 2000 году и отправлены в космос в 2004.

X-Y сборка

Первый пример нормально центрированного механизма приводится на основании XY сборки, использующей две пары пьезоактуаторов с интегрированным рычажным усилителем перемещения. Так как пьезоактуаторы работают в ассиметричном режиме (-20 +150 В), то для получения нормально центрированного механизма требуется симметричная конструкция и управление в двухтактном режиме **(Рис. 2)**.

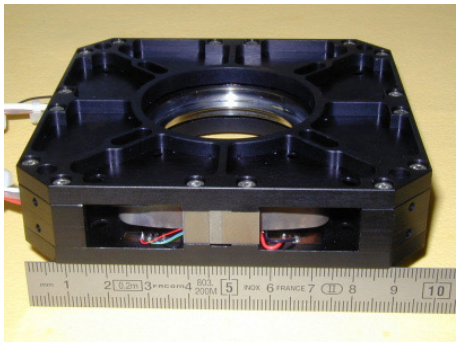

***Рис. 2**: Нормально центрированная XY сборка*

Ключевое достоинство этой разработки в том, что оба канала обеспечивают независимую работу и поэтому позволяют использовать два независимых драйвера и контроллера. Этот аспект значительно упрощает электронику.

Использовались два вида датчиков:
- Тензометрические датчики
- Емкостные датчики

Одно из стандартных применений такого механизма – это сканирование с высокой частотой. Эта технология используется в космическом телескопе SOHO / LASCO [3] для улучшения разрешения видео детектора. Сборка может перемещать как линзу, так и непосредственно датчик изображения. При работе механизма осуществляются 4 последовательных снимка (Рис.3). Расстояние между 4 точками соответствует половине пикселя.

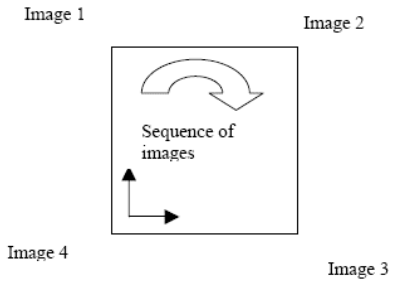

***Рис. 3**: Сканирование с высокой частотой*

Механизмы бокового наклона

Для некоторых задач, таких как высокоточное слежение, также требуются высокоточные наклонные механизмы. Впервые такой механизм применялся в космосе для управления мощностью оптического входа в оптическом волокне. В оптической скамье проекта орбитальных цезиевых часов с применением охлаждения атомов PHARAO было использовано 10 механизмов бокового наклона [6].
Для решения этой задачи был разработан миниатюрный механизм двойного бокового наклона. При этом ключевыми характеристиками снова являлись двухтактный режим и два независимых угла наклона (Рис. 4). Компания EADS-SODERN впервые применила такой механизм на оптической скамье PHARAO на этой конференции [6].

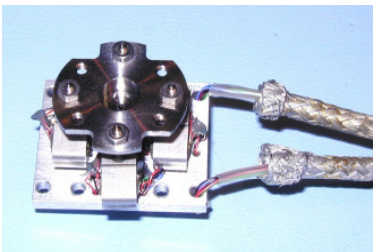

***Рис. 4**: Вид механизма двойного бокового наклона*

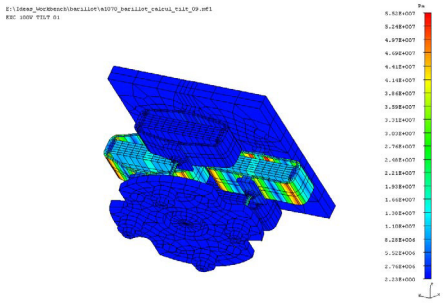

***Рис. 5:** Модель механизма двойного бокового наклона, построенная методом конечных элементов*

При уменьшении габаритов механизма требования по вибрации становятся более существенными. Решения на базе пьезо механизмов обычно в 3-5 раз легче, чем решение на базе электромагнитных катушек.
Современные механизмы демонстрируют характеристики: ход +/- 2,8 мрад, ширина полосы 2,8 кГц и угловое разрешение 0,03 мкрад, что находится в пределах требований для лазерной межспутниковой связи.

Механизм вращения вокруг оси Z

Та же методология может быть использована для построения нормально центрированного механизма, осуществляемого только вращение. Этот механизм используется для корректировки вращения борта Глобального Астрометрического Интерферометра для Астрофизики GAIA (сокращение от «Global Astrometric Interferometer for Astrophysics») на видео детекторе инструмента Спектрометра Радиальной Скорости GAIA RVS (сокращение от «Radial Velocity Spectrometer»). Опытный макет этого механизма был произведен в обсерватории Париж-Медон. Этот механизм может использоваться в криогенной среде.

Применение в криогенной среде возможно при надлежащем выборе пьезоэлектрического материала и потребует дополнительных испытаний.

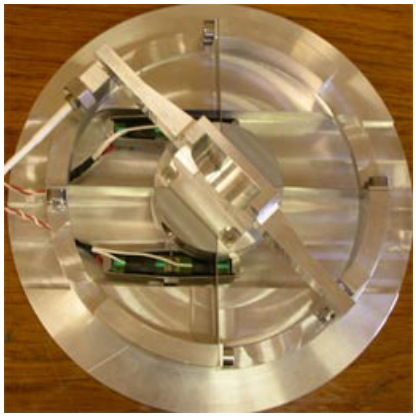

Рис. 6: *Внешний вид прототипа механизма вращения вокруг оси Z обсерватории Париж-Медон.*

Задающая и управляющая электроника

Несмотря на то что пьезоактуаторы имеют неограниченное разрешение, другие характеристики такие как точность и стабильность могут быть улучшены с помощью петли обратной связи, включающей сенсор положения. Таким образом, характеристики становятся зависимыми от управляющей электроники.

Электроника управления пьезоактуаторами должна обладать несколькими свойствами:

- Высоким отношением сигнал/шум
- Низким током покоя
- Защитой от короткого замыкания

Электроника FB-LA75-space (Рис. 7) включает:

- DC/DC конвертер
- 2 независимых канала с линейными усилителями AB, ПИД регулятор, преобразователь сигналов тензометрических датчиков положения.

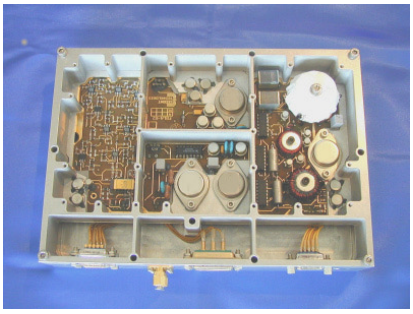

Рис. 7*: Внешний вид прототипа задающей и управляющей электроники*

Эта электроника была спроектирована в соответствии с требованиями к космическому уровню исполнения, на основании обнародованного номенклатурного перечня [7]. Свойства электроники были протестированы на воздействие температуры и вакуума. Характеристики приводятся в **Таблице 1**.

Краткий обзор стандартных характеристик

Механизм двойного бокового наклона DTT35XS – это пример полностью стандартного нормально центрированного механизма, с возможностью квалификации для космических применений. Характеристики поворотно-наклонного механизма DTT35XS и его управляющей электроники приведены в Таблице 1. Особенно примечательны его весовые характеристики.

Параметр	Ед.изм.	Величина
Функциональные характеристики		
Ход	мРад	+/- 2
Стабильность в пределах полосы 1 кГц с тензодатчиками	мкРад	1
Точность в закрытой петле	%	+/-1
Ширина полосы	Гц	1000
Operational performances		
Lifetime		10^8 full strokes
Условия окружающей среды		
Температура хранения	°C	-50 / 75
Случайные вибрации	Grms	41
Ударные нагрузки		200 g @ 500 мкс полусинусоидальный импульс
Интерфейсы		
Масса	г	15
Габариты	мм	26 * 23 * 16
Управляющая электроника		
Шина первичной цепи	В	18 - 38
Вторичные выходы	В	160, -30, 20, -20
Выходной ток линейного усилителя	мА	+/- 30
Запас по фазе линейного усилителя	°	45 минимум
Емкостная нагрузка	мкФ	0,2 до 40
Уровень излучения	кРад	10

Таблица 1*: Характеристики поворотно-наклонного механизма DTT35XS и его управляющей электроники*

Механизмы фокусировки

Атмосферные лидары (LIDAR) [8], предназначенные для дистанционного зондирования Земли, используют высокоточный источник лазерного излучения, работающий на одной частоте. Пьезомеханизмы фокусировки работают в широком диапазоне частот и используются для предотвращения возможного ухода частоты источника лазерного излучения. Следовательно, параллельно преднагруженные актуаторы, являются хорошо подходящими для этих задач. Преднагрузка является неотъемлемой характеристикой для динамических применений и реализуется с помощью внешней монолитной пружины.

Также нужно отметить, что активные построечные пьезо фильтры также могут быть использованы в приемной цепи: пьезоэлектрические актуаторы могут быть использованы для подстройки длины волны резонатора Фабри-Перо.

Впервые данное решение было применено для построения Лазера с Внешним Резонатором, разработанного компанией EADS SODERN для генератора лазерного излучения PHARAO (Рис. 8) [6].

Второе применение – это механизм фокусировки лазерного генератора на борту первого Европейского лидара LIDAR ALADIN. Задача этого лидара – это измерение скорости ветра. Это применение требует наличие лазера для космических применений, работающего с очень точной частотой.

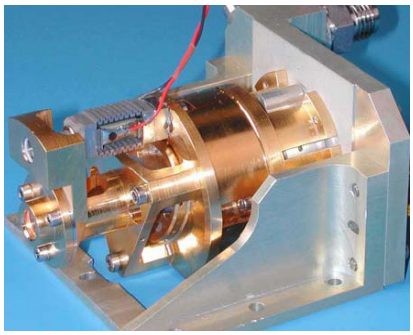

Рис. 8: *Внешний вид Лазера с Внешним Резонатором, подстраиваемого пьезоактуатором (фото из архива EADS SODERN)*

Для компенсации ухода частоты, генератор лазера фокусируется в динамическом режиме с помощью пьезоактуатора (**Рис. 9**). Это применение является ответственным для пьезоактуатора: оно требует обеспечить работу при воздействии вибрации частотах до 10 кГц и обеспечить срок службы более 10^10 циклов.

Специально для этой задачи был разработан параллельно преднагруженный актуатор (**Рис. 10**).

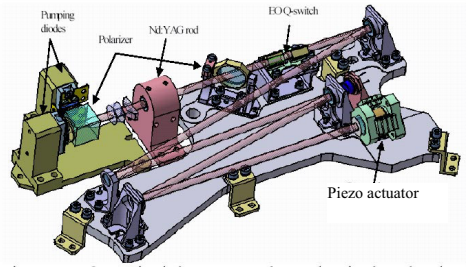

Рис. 9*: Динамическая фокусировка задающего генератора лазера (фото из архива Gallileo Avionica [9])*

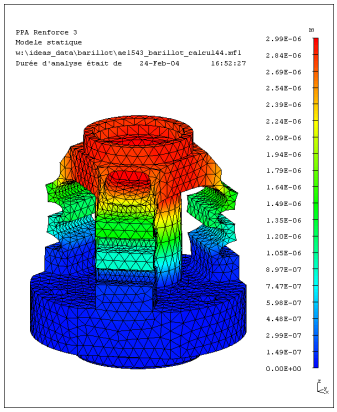

Рис. 10*: Параллельно преднагруженный пьезо актуатор с полым валом для фокусировки лазерного луча*

Заключение и направление развития

Пьезомеханизмы все больше и больше применяются для улучшения оптических характеристик. Нормально центрированные пьезоэлектрические механизмы являются инновационными, обладают малым весом и позволяют сохранить центральное положение в режиме ограниченной функциональности.

Компания CEDRAT TECHNOLOGIES разработала новую серию нормально центрированных механизмов для космических применений, которые не требуют никаких дополнительных фиксирующих устройств при выводе на орбиту: XY-сборка и поворотно-наклонные механизмы. Дополнительно были разработаны следующие решения:

- Несколько типов датчиков положения (тензометрические датчики, емкостные датчики)
- Несколько решений для увеличения возможности удерживать большую полезную нагрузку в условиях вывода на орбиту
- Была разработана и протестирована задающая и управляющая электроника

Развивается применение пьезо механизмов в системах фокусировки точных одночастотных лазерных источников, которые используются в ЛИДАРАХ. Наметившийся тренд – это применение пьезо механизмов в криогенной среде.

Благодарность

Эта работа была выполнена благодаря финансовой поддержке Французского Министерства Развития и Французского Космического Агентства.

Перечень литературы

[1] C. Niezrecki et al., “Piezoelectric actuation: state of the Art”, *The Shock and Vibration Digest*, vol. 33(4), pp 269-280, 2001.

[2] R. Le Letty et al, “The scanning mechanism for Rosetta/Midas : from the engineering to the flight model”, pp. 75-81, *9th ESMATS Proc.*, Liège, 2001.

[3] F. Burger, J. Eder, “Soho LASCO”, pp 9-14, *6th ESMATS proc.*, Zurich, 1995.

[4] T. Blais, F. DiGesu, “Fine steering mechanism for new generation optical terminals”, pp 73 – 80, *8th ESMATS Proc.*, Toulouse, 1999.

[5] W. Schmidt, “High resolution spectro polarimetry with a large balloon-borne solar telescope”, *Adv. Space. Research*, vol. 29(12), pp. 2055-2060, 2002.

[6] F. Pécal et al., “Pharao space atomic clock mechanisms”, *10th ESMATS Proc*, 2003.

[7] O. Sosnicki et al., “Driving and control electronic of piezoelectric actuators for space applications”, *EPE2003*, Toulouse, 2003.

[8] R. Flatscher et al., “Laser radar for scientific space applications”, *ESA bulletin n°101* , Feb. 2000.

[9] A. Consentino, “High energy, single frequency, tunable, laser source operating in burst mode for space based LIDAR applications”, *ICSO 2004*, SP-554,Toulouse, 2004.

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