Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
АО «Красноярский машиностроительный завод»

при поддержке

Министерства образования и науки Российской Федерации
Федерального космического агентства
Правительства Красноярского края
Совета ректоров вузов Красноярского края
Федерации космонавтики России
АО «Центральное конструкторское бюро «Геофизика»
Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук
Консорциума аэрокосмических вузов России
КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности»
Технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система»
Компании «National Instruments»

РЕШЕТНЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева (10–14 ноября 2015, г. Красноярск)

В 2 частях. Часть 1

Красноярск 2015

УДК 629.7
ББК 30 + 2
Р47

Под общей редакцией
доктора физико-математических наук
Ю. Ю. Логинова

Редакционная коллегия:

Ю. Ю. Логинов (председатель), Е. В. Белякова, В. Г. Бондаренко, Е. Н. Головенкин, В. В. Двирный, С. П. Ереско, Л. В. Ерыгина, В. Ю. Журавлев, В. В. Золотарев, И. Н. Карцан, А. А. Кишкин, А. Г. Кучкин, М. В. Лукьяненко, Ю. Н. Маланина, А. В. Медведев, А. Е. Михеев, А. В. Мурыгин, В. П. Назаров, А. С. Паршин, Л. В. Ручкин, М. В. Савельева, К. В. Сафонов, С. И. Сенашов, О. А. Титов, М. Н. Фаворская, В. Х. Ханов, Ю. П. Юронен, В. Г. Яцуненко, В. В. Храпунова (отв. секретарь)

Р47 **Решетневские чтения** : материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М. Ф. Решетнева (10–14 нояб. 2015, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2015. – Ч. 1. – 604 с.

Сборник содержит материалы XIX Международной научно-практической конференции «Решетневские чтения», посвященной 55-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, в которых представлены результаты исследований ученых и специалистов предприятий и организаций аэрокосмической отрасли, преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов высших учебных заведений Российской Федерации и стран ближнего и дальнего зарубежья.

Сборник рассчитан на научных сотрудников, работников промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

В статьях сохранен авторский стиль изложения.

УДК 629.7
ББК 30 + 2

© Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2015

УДК 629.76

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЛИНЕЙНЫХ ПЬЕЗОПРИВОДОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ*

А. В. Азин[1], С. В. Пономарев[1], С. В. Рикконен[1], А. М. Храмцов[2]

[1]Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета
Российская Федерация, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36
[2]ОАО «НИИ «Элпа»
Российская Федерация, 124260, г. Москва, г. Зеленоград, Панфиловский просп., 10
E-mail: antonazin@niipmm.tsu.ru

Микроэлектромеханические системы в настоящее время находят все более широкое применение в технике. Приборостроение и космическая отрасль нуждаются в линейных пьезоприводах, применение которых существенно снижает массогабаритные показатели электромеханических приводов.

Ключевые слова: микролинейный пьезопривод, космический аппарат, колебательная система.

RESEARCHING MICRO LINEAR PIEZODRIVE FOR SPACECRAFT

A. V. Azin[1], S. V. Ponomarev[1], S. V. Rikkonen[1], A. M. Hramcov[2]

[1]Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics Tomsk State University
36, Lenina Av., Tomsk, 634050, Russian Federation
[2]ELPA Company
10, Panfilovsky Av., Zelenograd, 124460, Moscow, Russian Federation
E-mail: antonazin@niipmm.tsu.ru

Microelectromechanical systems are currently becoming more and more widely used in the technology. Instrumentation and space industry increasingly require linear drives, the use of which significantly reduces the weight and size parameters of the electromechanical actuators.

Keywords: microlinear piezodrive, spacecraft, vibrating system.

В космических аппаратах зарубежного и отечественного производства задачи изменения формы и взаимного расположения элементов конструкции космического аппарата (КА) в процессе их функционирования решаются, как правило, с использованием электромеханических устройств (ЭМУ). В настоящее время становится актуальной задача минимизации массогабаритных показателей всех элементов космической техники, это относится ко всем электроприводам функционирования оборудования КА. Существенной альтернативой ЭМУ являются микролинейные пьезоприводы (МЛП). Замена всех приводов в КА на МЛП является не только технической задачей, но и существенным импортозамещением в очень важной отрасли страны. Требованиям для устройств, работающих в условиях космоса, наиболее полно удовлетворяют пакетные многослойные пьезоактуаторы отечественного производителя ОАО «Научно-исследовательский институт «Элпа» с опытным производством», Зеленоград, Москва [1]. Характеристики пакетных многослойных пьезоактуаторов, подходящих для изготовления микролинейного пьезопривода натяжения вант рефлектора, представлены ниже (см. таблицу).

Микролинейный пьезопривод необходимо рассматривать как колебательную систему, объединённую единым режимом генерации и передачи механической энергии в нагрузку и состоящую из ряда колебательных подсистем:

– электрической колебательной подсистемы источника переменного тока;

– механической колебательной подсистемы многослойного пакетного пьезоактуатора;

– механической колебательной подсистемы согласующей арматуры (пьезоактуатора);

– механической колебательной подсистемы нагрузки.

Изменение параметров (конструкции или материалов) любой из подсистем ведет к изменению режима работы системы в целом. В этом случае особую ценность имеют адекватные математические модели, позволяющие конструктору быстро и дешево получить информацию о режиме работы колебательной системы, коэффициенте преобразования электрической энергии в механическую энергию, устойчивости режима преобразования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор RFMEFI57814X0060.

Характеристики пакетных многослойных пьезоактуаторов ОАО «НИИ «Элпа»

Параметр	Тип			
	АПМ-2-7, АПМ-2-7М	АПМ-2-11, АПМ-2-11М	АПМ-2-15, АПМ-2-15М	АПМ-2-22, АПМ-2-22М
Масса, г	6,5	9,6	12,7	18,8
Кол-во элементов	7	11	15	22
Длина, мм	20	31	41	61
Перемещение при напряжении 100 В, мкм	14±15 %	22±15 %	30±15 %	44±15 %
Статическая емкость, мкФ	3,0±20 %	6,0±20 %	7,0±20 %	10,0±20 %
Сопротивление изоляции, МОм	5,0	2,0	1,5	1,0
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,04	0,04	0,04	0,04
Давление, Па	$5\cdot10^6$	$5\cdot10^6$	$5\cdot10^6$	$5\cdot10^6$
Частота колебаний, Гц	1000	1000	1000	1000
Удельная энергия, $*10^3$ Дж/м^3	3,5	3,55	3,65	3,6

Авторами создана линейная одномерная модель МЛП, основанная на предположении дуальности (двойственности) передачи энергии механическим и акустическим способом, представленная в виде аналоговой электрической схемы замещения, позволяющая быстро рассчитать режимы работы МЛП (резонансные частоты, вибросмещения, усилия на нагрузке) разных конструкций [2; 3].

Расчет производится символическим методом по формулам Киргофа. Для проверки адекватности линейной одномерной модели создана трехмерная модель колебательной подсистемы пьезоактуатора, решение осуществляется методом конечных элементов.

Самой простой и надежной конструкцией преобразователя линейного перемещения во вращательное является двигатель Барта [4; 5], момент вращения которого образуется за счет трения между пьезоактуатором и ротором двигателя.

Для увеличения удельной мощности МЛП необходимо группировать пьезоактуаторы вокруг ротора двигателя. В этом случае необходимо осуществить синхронный и синфазный режим работы пьезоактуаторов. Это достигается многоканальным источником питания с взаимным регулированием фаз напряжений.

Расчеты показывают, что в таких конструкциях МЛП можно получить общий коэффициент преобразования более 55–60 %, силу на нагрузке до 2 000 Н, вибросмещения 14 мкм при весе от 30 до 100 г.

Библиографические ссылки

1. Пьезоэлектрические устройства [Электронный ресурс]. URL: http://www.elpapiezo.ru/Catalogs/Catalog_of_piezoelectric_devices.pdf (дата обращения: 24.08.2015).

2. Пономарев С. В., Рикконен С. В., Азин А. В. Анализ работы пьезопривода по частотным характеристикам механоакустической колебательной системы // Изв. вузов. Физика. 2014. № 8/2, Т. 57. С. 196–202.

3. Пономарев С. В., Рикконен С. В, Азин А. В. Моделирование колебательных процессов пьезоэлектрического преобразователя // Вестник Томского государственного университета. Сер. Математика и механика. 2015. № 2(34). С. 86–95.

4. Kenji Uchino. Piezoelectric ultrasonic motors: overview // Smart Mater. Struct. 1998. P. 273–285.

5. Soonho Park. Single vibration mode standing wave tubular piezoelectric ultrasonic motor // Theses and dissertations. Toronto, 2011. 136 p.

References

1. *P'ezoelektricheskie ustroystva* [Piezoelectric devices] (In Russ.) Available at: http://www.elpapiezo.ru/Catalogs/Catalog_of_piezoelectric_devices.pdf (accessed: 24.08.2015).

2. Ponomarev S. V., Rikkonen S. V., Azin A. V. [Study of electromechanical processes in a piezoelectric system] *Izv. vuzov. Fizika*. 2014, vol. 57, no. 8/2, p. 196–202. (In Russ.)

3. Ponomarev S. V., Rikkonen S. V., Azin A. V. [Simulation of oscillatory processes piezoelectric transducer] *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya matematika i mekhanika.* 2015, vol. 34, no. 2, p. 86–95. (In Russ.)

4. Kenji Uchino [Piezoelectric ultrasonic motors: overview] *Smart Mater. Struct.* 1998, p. 273–285.

5. Soonho Park [Single vibration mode standing wave tubular piezoelectric ultrasonic motor] *Theses and dissertations*. 2011, 136 p.

© Азин А. В., Пономарев С. В.,
Рикконен С. В., Храмцов А. М., 2015

Хилько В. М., Ильченко А. А., Орешенко Т. Г. Обработка деталей РКТ с наличием сложных поверхностей 52
Шестаков И. Я., Фисенко Е. Н. Линейные электродинамические двигатели для приводов вибростендов 55

Секция
«КРУПНОГАБАРИТНЫЕ ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ»

Азин А. В., Пономарев С. В., Рикконен С. В., Храмцов А. М. Исследование микролинейных пьезоприводов для космических аппаратов 58
Алифанов А. И., Ермилов С. П., Синиченко М. И., Бородин Л. М. Разработка, изготовление и испытание капиллярных насосов мощностью до 1 кВт 60
Ананьев В. В. Моделирование двухфазного термосифона 62
Андреева Е. О., Блинов А. Ф., Гиммельман В. Г., Федоров Я. Ю., Щесняк С. С. Трансформируемая штанга крупногабаритного рефлектора 65
Аристов В. Ф., Чернышенко А. О. Композиты с эффектом памяти формы для создания саморазворачивающихся конструкцй космического назначения 67
Бакаенко В. Д., Егоров Д. В. Моделирование сетчатых композитных спиц зонтичных антенн с треугольным поперечным сечением 68
Бернс В. А., Жуков Е. П., Маринин Д. А. Построение матрицы демпфирования конструкции по результатам испытаний 71
Бикеев Е. В., Коловский Ю. В. Орбитальный контроль эксплуатационных характеристик антенн с крупногабаритными рефлекторами космических аппаратов 72
Богданова А. А., Кравченко Ю. С. Анализ проектирования размеростабильных интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов 74
Болгов В. В., Тайгин В. Б., Грудинин Г. Н. Сверхлегкие волноводы антенн из полимерных композиционных материалов с металлической проводящей оболочкой 76
Бондарев А. В., Гиммельман В. Г., Груничева О. А., Зотова Е. О., Щесняк С. С. Особенности расчетного обеспечения проектирования трансформируемой космической штанги 78
Буякас В. И., Рыбаков А. С., Каменский А. А. Моделирование новой конструкции трансформируемого лепесткового зеркала 81
Величко А. И., Кисанов Ю. А., Церихов В. И., Матросова И. В. Привод развёртывания трансформируемого сетчатого рефлектора с жёсткой центральной частью 83
Верхогляд А. Г., Скоков Д. В., Накрохин И. А., Шенделев Д. О., Халиманович В. И. Телескопическая спица для рефлектора диаметром 48 метров 85
Вечтомов В. А. Испытательный стенд бортовых антенн миллиметрового диапазона волн на основе зеркального коллиматора 87
Вихров И. А., Аристов В. Ф., Гуров Д. А. Адамантан-олигоциануратные связующие для размеростабильных углепластиковых конструкций космических аппаратов 91
Гладких С. Н., Ткаченко И. В., Вялов А. И. Новые контактные полиуретановые клеи для КА 93
Голдобин Н. Н., Голдобина Я. Л. Методика расчета температурных деформаций космического крупногабаритного рефлектора 95
Голдобин Н. Н. Анализ температурных деформаций космического крупногабаритного рефлектора диаметром до 48 метров 97
Голдобина Я. Л., Шальков В. В. Перспективный крупногабаритный трансформируемый рефлектор зонтичного типа 99
Двирный В. В., Исеева О. А., Пацкова Е. Г. Исследование влияния усилия натяжения углеродного волокна при намотке 101
Дымов Д. В., Двирный В. В., Еременко Н. В., Двирный Г. В. Перспективы применения сетевой технологии SpaceWire на российских спутниках 103
Егоров Д. В., Бакаенко В. Д. Выбор материала вставок панели обсерватории «Миллиметрон» для эксплуатации при криогенных температурах 106
Кравченко И. А., Бородин Л. М., Похабов Ю. П. Анализ результатов исследования дефектов металлокомпозитных баков высокого давления для КА 108