

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРИВОДАМИ НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

П.В. Гуляев, Ю.К. Шелковников, А.В. Тюриков

В статье представлены конструктивные особенности и назначение новых элементов управления инерционными пьезоприводами вращательно-поступательного типа. Приведены экспериментальные результаты, а также рекомендации по дальнейшему совершенствованию и использованию представленных устройств.

Ключевые слова: пьезоэлемент, инерционный пьезопровод, наноразмерные перемещения, привод вращательно-поступательного типа, схема замещения, моделирование

Введение

В настоящее время инерционные пьезоэлектрические приводы наноперемещений находят применение в системах высокоточного позиционирования сканирующих зондовых микроскопов [1, 2]. Типичная конструкция привода представлена на рисунке 1 (где 1 – винт; 2 – гайка; 3 – крепежный элемент, жестко установленный на винте; 4 – биморфный пьезоэлемент; 5 – инерционный элемент). Привод управляется несимметричными пилообразными сигналами, пологий фронт которых сопровождается медленной деформацией пьезоэлементов при относительном покое пары винт-гайка, а быстрый срез – вращением винта относительно гайки. Как показали исследования [3], более широкое применение данных приводов ограничивается рядом их недостатков:

- колебательный характер переходных процессов;
- большая величина обратного хода;
- затрудненность запуска после длительных остановок (отсутствие перемещения при воздействии управляющих сигналов).

Колебательный характер переходных процессов и обратный ход приводов обусловлены упругими свойствами пьезокерамики, при этом большая величина обратного хода может быть вызвана использованием в узле вращения полимерных материалов и недостаточным демпфированием колебаний пьезоэлемента [4].

Затрудненность запуска может быть вызвана следующим. При работе кинематической пары, один или оба элемента которой выполнены из пластмассы, возникает существенная разность между коэффициентами трения покоя и скольжения (до 4 раз в динамике и до 10 раз при длительном покое кинематической пары [5]). Это обусловлено тем,

что предварительное смещение полимера (а также смазки при ее наличии) больше по сравнению с металлами, что вызывает разность между энергией, необходимой для деформации и энергией, сохраняющейся в деформированном объеме [4,6]. Кроме того, при возрастании продолжительности неподвижного контакта кинематических элементов привода увеличивается коэффициент трения покоя [7], что при запуске может привести к необходимости повышения амплитуды управляющих сигналов.

Постановка задачи

Существует ряд методов (повышение количества пьезоэлементов, изменение формы и скважности управляющих сигналов), позволяющих частично устранить упомянутые недостатки. Однако наиболее перспективным является изменение структуры инерционного пьезоэлектрического привода, например, введение дополнительных элементов конструкции.

Одними из таких элементов могут быть различные типы демпферов, действующих на винт или на свободный конец пьезоэлементов. Для контроля эффективности демпферов целесообразно реализовать возможность мониторинга различных параметров движения. Использование для этих целей готовых датчиков не всегда возможно из-за конструктивных ограничений. Поэтому задача разработки датчиков перемещения или скорости, интегрированных в привод, является весьма актуальной.

Результаты и их обсуждение

Для получения качественных или усредненных характеристик привода (направление, средняя скорость и величина перемещений) целесообразно применение недорогих магнитоиндукционных датчиков скорости. Одна из

РАЗДЕЛ 5. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОМПОНЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

простейших конструкций датчика для данного привода включает магнит 6, закрепленный на конце винта привода и свободно перемещающийся внутри стеклянной трубки с катушкой 7, устанавливаемой на нижней крышке привода. Индуцированная ЭДС в катушке оценивается согласно закону электромагнитной индукции:

$$\xi = Blv \sin \alpha,$$

где α – угол между проводником и направлением скорости пересечения этим проводником линий магнитной индукции B ; l – длина участка проводника, находящегося в магнитном поле.

На рисунке 2 приведен усиленный в 8800 раз и проинтегрированный сигнал с такого датчика, полученный при воздействии управляющих сигналов с периодом следования импульсов 16.35 мс. Сравнение сигнала с данными, полученными ранее в работе [3], показывает хорошее совпадение формы траектории перемещения.

При формировании среза управляющего сигнала на катушку датчика может наводиться помеха, искажающая результаты измерений. Для ее устранения использована дополнительная катушка, находящаяся вне силовых линий поля магнита. Схема включения катушек представлена на рисунке 3. Регулировочный резистор используется для установления нулевого сигнала на выходе при формировании управляющих сигналов в отсутствие магнита, что соответствует полной компенсации помехи.

Наличие данной помехи особенно заметно при низкой величине перемещений, когда амплитуда информационного сигнала существенно уменьшается. Устранения помехи добиваются снижением амплитуды управляющего сигнала до значений, при которых, даже по истечении длительного времени работы (10 – 15 минут), отсутствует перемещение винта. Затем, контролируя сигнал с датчика, регулировкой R4 добиваются снижения амплитуды сигнала до минимально возможной.

Кроме того, может присутствовать помеха в виде постоянной составляющей информационного сигнала, которая требует удаления до начала интегрирования.

Для уменьшения величины обратного хода может применяться демпфирование колебаний подвижной части привода. Как показали исследования, для этих целей может использоваться увеличение силы трения в кинематической паре привода. Из рисунка 4 следует, что повышение трения может при-

вести к существенному снижению величины обратного хода, но при этом может увеличиться износ кинематической пары. Поэтому более разумным для обеспечения долговечности привода является применение отдельного сменного элемента трения.

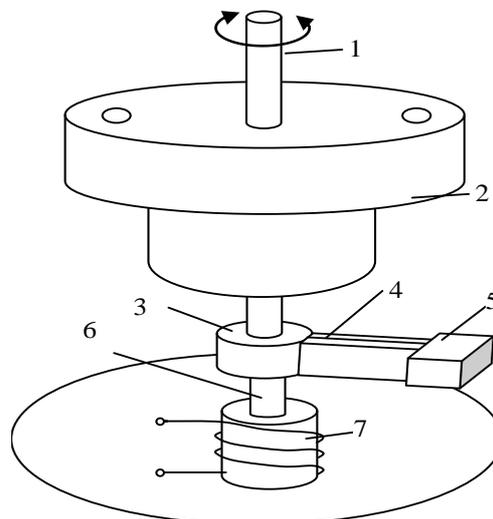


Рисунок 1 – Схема расположения датчика и элемента сухого трения

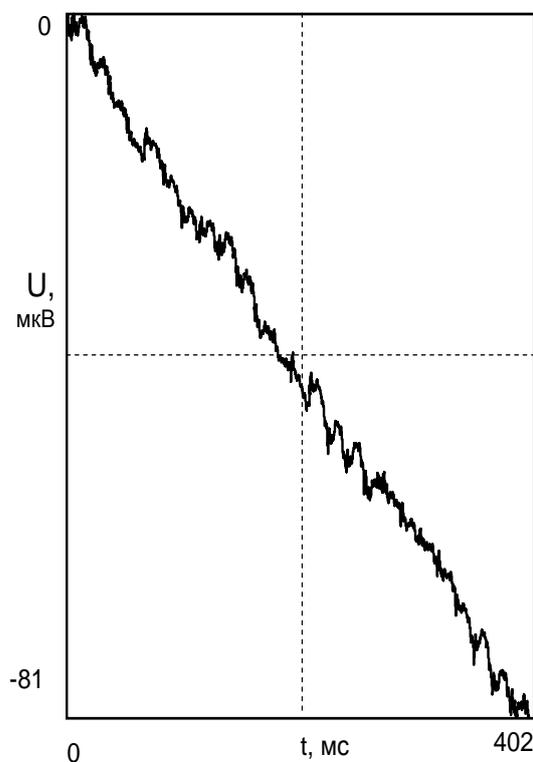


Рисунок 2 – Сигнал с датчика

В настоящей работе предлагается совместить дополнительный элемент трения и магнитоиндукционный датчик скорости. ДО-ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2014

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ
ИНЕРЦИОННЫМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ
ПРИВОДАМИ НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

полнительный элемент трения образуют стеклянная трубка 2 и магнит 1 (рисунок 5), ось которого смещена относительно осей винта 3 и стеклянной трубки 2.

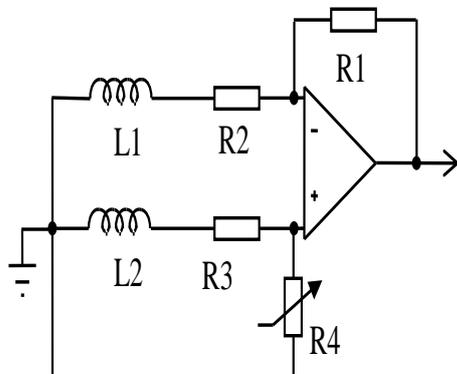


Рисунок 3 – Схема измерения скорости

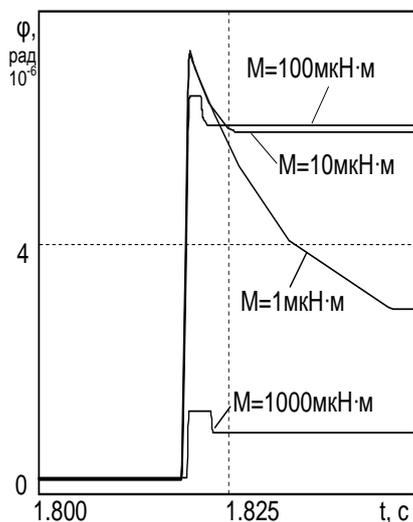


Рисунок 4 – Графики перемещения крепежного элемента при изменении момента M силы сухого трения

Регулировка трения может осуществляться с помощью металлической пластины, размещаемой с внешней стороны трубки. При этом масса и размеры пластины (или замещающего ее магнита) определяют величину силы дополнительного трения, возникающей между винтом и магнитом, между магнитами (если их несколько) или между магнитом и поверхностью стеклянной трубки. Последние два варианта наиболее предпочтительные вследствие того, что изменения силы трения на полированных поверхностях менее значительны по сравнению с трением торцевой поверхности винта и магнита. Необходимое трение наиболее просто организуется при малом зазоре между трубкой и магнитом, а

также при наличии нескольких магнитов, которые могут смещаться относительно друг друга. При этом жестко связанным с винтом и вращающимся вместе с ним является только один из магнитов. Эффективность дополнительного элемента трения подтверждает рисунок 2, сравнение которого с ранее полученными результатами [1,3] свидетельствует о заметном снижении обратного хода привода.

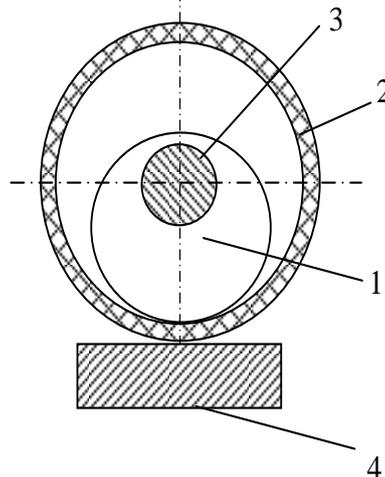


Рисунок 5 – Расположение элементов дополнительного элемента трения (где 1 – магнит; 2 – стеклянная трубка; 3 – винт; 4 – металлическая пластина)

Опыт практического использования датчика подтвердил его работоспособность. При этом для снижения уровня шумов следует заземлять винт привода или экранировать катушку датчика. Также целесообразно предусмотреть схемотехнические средства удаления постоянной составляющей сигнала с датчика. Погрешность определения средней величины перемещения с помощью конкретной реализации датчика (более 1 см) составила 15-20 %, что вызвано в большей степени неидеальностью катушки, изготовленной в лабораторных условиях. Необходимо отметить, что допускается применение некалиброванного датчика для оценки траектории перемещения винта и работоспособности привода в целом. Для этого сигнал с датчика за один период управляющего воздействия подвергается удалению постоянной составляющей и численному интегрированию. На результирующем графике перемещения определяются максимальное и конечное смещения винта, а также величина обратного хода (разность между максимальным и конечным смещением). Эти значения могут использоваться для улучшения параметров

РАЗДЕЛ 5. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОМПОНЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

движения посредством изменения характеристик управляющего сигнала. Так, например, нулевое смещение винта свидетельствует о необходимости увеличения амплитуды управляющих сигналов или снижения трения демпфера, а большая величина обратного хода – о необходимости увеличения трения демпфера.

Таким образом, как показало вышеизложенное, интеграция датчика и демпфера в инерционный пьезоэлектрический привод позволяет расширить функциональные возможности в области контроля и управления величиной наноперемещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, П.В. Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа / П.В. Гуляев [и др.] // Электротехника. – 2010. – №10. – С. 8-11.
2. Гуляев, П.В. Автоматизация процесса сближения зондирующей иглы и образца в электрохимическом туннельном микроскопе/ П.В. Гуляев, Н.И. Осипов, М.Р. Гафаров // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3. – С. 200-203.
3. Гуляев, П.В. Асинхронный режим работы инерционного пьезоэлектрического привода / П.В. Гуляев [и др.] // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3-1. – С. 86-88.
4. Геккер Ф.Р. Динамика машин работающих без смазочных материалов в узлах трения / Ф.Р. Геккер. – М.: Машиностроение. – 1983. – 168 с.
5. Башта, Т.М. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение. – 1969. – 628 с. – С.113.
6. Конструкционные свойства пластмасс / Под ред. Бэра Э. – М.: Химия. – 1967. – 464 с.
7. Крагельский, И.В. Коэффициенты трения / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – 1962. – 220 с.
8. Липанов, А.М. Инерционный пьезоэлектрический привод с магнитоиндукционным датчиком скорости/ А.М. Липанов [и др.] // Датчики и системы. – 2012. – № 5. – С. 52-54.
9. Липанов, А.М. Формирование наноперемещений пьезоэлектрическим осциллятором и кинематической парой вращения/ А.М. Липанов [и др.] // ПЖТФ. – 2011. – Т. 37. – №15. – С. 55-61.
10. Липанов, А.М. Прецизионный пьезодвигатель наноперемещений для сканирующего туннельного микроскопа / А.М. Липанов, П.В. Гуляев, Е.Ю. Шелковников // Датчики и системы. – 2004. – №9. – С. 30-33.

К.т.н., с.н.с. Гуляев П.В., д.т.н., г.н.с. Шелковников Ю.К., к.ф.-м.н., с.н.с. Тюриков А.В., – (3412) 21-89-55, iit@udman.ru - Институт механики УрО РАН.

УДК 621.369.67

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ПАТЧ-АНТЕННЫ ТРЕХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.Д. Бортников, А.П. Люлякин, А.А. Трубочев, А.В. Юрченко, В.И. Юрченко

В статье представлены результаты теоретического расчета, численного моделирования и экспериментальных исследований характеристик симметричной двухэлементной треугольной микрополосковой антенны 3-см диапазона длин волн.

Ключевые слова: антенна, диаграмма направленности

Актуальность

Во многих областях современной промышленности используются системы контроля, к эксплуатации которых предъявляются высокие требования. Если современный уровень развития методов и средств контроля готовых изделий достаточно высок, то в отношении контроля технологических параметров материалов и изделий в процессе производства достижения ещё незначительны. Особенность неразрушающего контроля

заключается в том, что технологические параметры необходимо определять непосредственно в технологическом процессе. Это условие накладывает на метод контроля существенные ограничения. Наиболее эффективными для этих целей являются радиоволновые, тепловые, радиационные и акустические методы. При этом наиболее информативными являются бесконтактные радиоволновые методы контроля, позволяющие контролировать геометрические размеры, нали-