

АСИНХРОННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ИНЕРЦИОННОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА

П.В. Гуляев, Е.Ю. Шелковников, А.В. Тюриков, М.Р. Гафаров, С.И. Липанов

В статье рассмотрены особенности работы инерционного пьезоэлектрического привода в асинхронном режиме, отличающемся кратковременным характером процессов синхронизации элементов кинематической пары. Представлена схема замещения, позволяющая моделировать переходные процессы в инерционном пьезоэлектрическом приводе. Приведены результаты теоретических и практических испытаний привода в асинхронном режиме, описаны его достоинства и недостатки.

Ключевые слова: инерционный пьезоэлектрический привод, асинхронный режим, кинематическая пара, наноразмерные перемещения

Введение

Инерционные пьезоэлектрические приводы находят широкое применение для высокоточного позиционирования образцов и зондов в нанометровом диапазоне [1-3]. В настоящее время наибольший интерес вызывают инерционные пьезоприводы ударного типа, позволяющие осуществлять высокоточные угловые перемещения и преобразовывать их в сверхмалые (единицы нм и менее) линейные перемещения [4-6].

Постановка задачи

Конструкция типичного пьезоэлектрического инерционного привода (рисунок 1) включает в себя узел вращения 1, пьезоэлементы 2, инерционный 3 и крепежный 4 элементы.

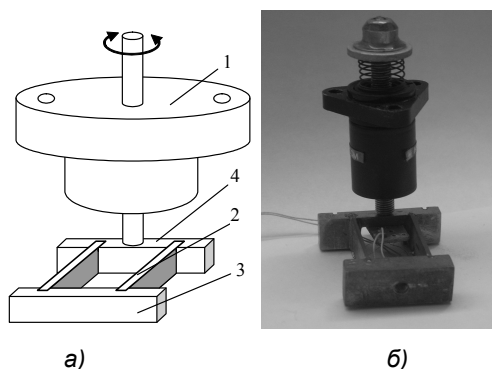


Рисунок 1 - Инерционный привод: а – конструкция (1 – узел вращения; 2 – пьезоэлементы; 3 – инерционный элемент; 4 – крепежная пластина); б – внешний вид

Узел вращения выполнен в виде кинематической пары винт-гайка, позволяющей получать не только угловые, но и поступательные перемещения. Данный тип приводов управляется несимметричными пилообразными импульсами. В традиционном режиме работы при подаче полого фронта управляющего сигнала положение элементов кинематической пары синхронизируется силой трения (фаза синхронизации). Пьезоэлементы при этом медленно деформируются, вызывая перемещение инерционных элементов, а ходовая часть привода остается неподвижной. Во время крутого среза силы, удерживающие пьезоэлементы в деформированном состоянии, перестают действовать, и пьезоэлемент оказывается нагруженным на инерционный элемент и узел вращения. Это приводит к смещению (десинхронизации) элементов кинематической пары и перемещению ходовой части привода. Траектория этого перемещения определяется разновидностью нагрузки пьезоэлемента и параметрами управляющих сигналов. Наиболее типичная траектория представляет собой первоначальное скачкообразное смещение и последующий плавный обратный ход [4]. Снижение этого хода (который может достигать до 100% от величины скачкообразного смещения) является одним из перспективных путей улучшения характеристик инерционных приводов. Исследования, проведенные в работе [4], показали, что при преобладании в кинематической паре привода сил вязкого трения и снижении скважности управляющих сигналов величина обратного хода существенно возрастает. Регулировка кинематической пары привода, введение дополнительных элементов трения не всегда приводят к прогнозируемым результатам. Альтернативным методом снижения обратного хода может служить изменение режима возбуждения пьезоэлемента и, соответственно, режима работы кинематической пары привода.

В частности, повышенный интерес вызывает оценка влияния скважности управляющих сигналов на величину обратного хода. При этом основным резервом повышения скважности следует считать промежутки времени, отводимые на завершение переходных

АСИНХРОННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ИНЕРЦИОННОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА

процессов после формирования крутого среза этих сигналов. Для подобных исследований могут быть использованы схемы замещения, построенные на основе системы электромеханических аналогий: скорость (угловая скорость) – напряжение; сила (момент) – ток; масса (момент инерции тела) – емкость; податливость (угловая податливость) – индуктивность, механическое сопротивление – проводимость [7-9]. Схема замещения инерционного пьезоэлектрического привода представлена на рисунке 2.

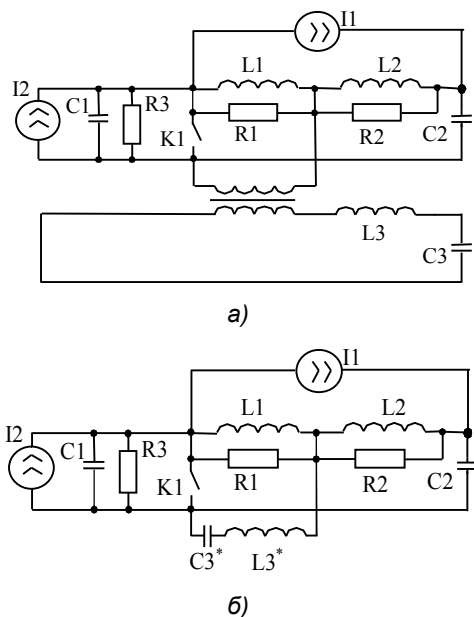


Рисунок 2 - Схема замещения инерционного пьезоэлектрического привода: а – исходный вариант; б – упрощенный вариант

Она содержит ветви угловых и линейных перемещений, связанные между собой посредством идеального трансформатора, отражающего взаимосвязь линейных и угловых величин [7]. Индуктивности $L_1 - L_3$ используются для представления податливости пьезопластин, а резисторы R_1, R_2 – для представления их механического сопротивления. Нагрузку пьезоэлементов составляют элементы: C_1 – момент инерции крепежной пьезопластины; C_2, C_3 – соответственно момент инерции и масса инерционного элемента; R_3 – механическая проводимость трения в паре винт-гайка. Источник тока I_1 предназначен для формирования пилообразного управляющего сигнала. Источник тока I_2 моделирует изменение силы сухого трения в зависимости от скорости крепежной пластины $I_2 = M \cdot \text{sign}(u(C_1))$ (где M – момент силы трения, подчиняющейся закону Амонтона; $u(C_1)$ – напряжение на конденсаторе C_1). Ключ K_1 замкнут в моменты синхронизации положения элементов кинематической пары и разомкнут

в обратном случае. Замыкание ключа осуществляется при выполнении следующих условий:

$$|i(L_1)| \leq i_0; \quad u(C_1) = 0, \quad (1)$$

где i_0 – ток, соответствующий величине силы трения. После упрощения схема принимает более удобный для моделирования вид (рисунок 2б). При этом выполняются следующие преобразования: $C_3^* = C_3 \cdot I_2$, $L_3^* = L_3 / I_2$ (где I – длина пьезоэлемента).

Результаты и их обсуждение

Исследование схемы замещения привода показало следующее. При увеличении скажности управляющих сигналов форма кривой перемещения ходовой части привода приближается к пилообразной форме управляющего сигнала (рисунок 3а).

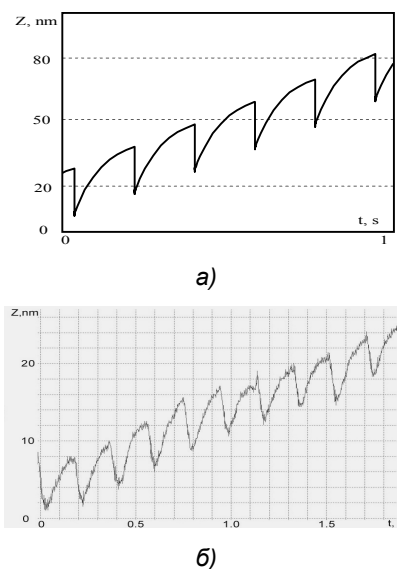


Рисунок 3 - График перемещения ходовой части в асинхронном режиме: а - результат моделирования; б - результат измерений

Это означает, что в течение всего периода действия управляющего сигнала условия (1) либо не выполняются, либо выполняются на протяжении очень коротких промежутков времени. Ввиду того, что продолжительность моментов синхронизации положения элементов кинематической пары незначительна, и они постоянно находятся в состоянии относительного смещения, полученный режим работы инерционного привода может считаться асинхронным.

Натурные испытания привода подтвердили адекватность предложенной схемы замещения привода и возможность формирования асинхронного режима работы. Кривая, соответствующая поступательному перемещению подвижной части привода в этом режиме, представлена на рисунке 3б. Достоин-

РАЗДЕЛ II. КОМПОНЕНТЫ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

ствами описанного режима работы являются уменьшение обратного хода, возможность снижения амплитуды управляющих импульсов, повышение средней скорости перемещения. Недостатком является необходимость управления сериями импульсов. При этом величина смещения ходовой части привода при первом и последнем импульсах будет близка к нулю.

Таким образом, исследование работы пьезоэлектрического инерционного привода показало следующее. Для снижения обратного хода рекомендуется повышать скважность управляющих импульсов. При этом привод будет функционировать в асинхронном режиме, отличающемся минимизацией продолжительности фазы синхронизации положения элементов кинематической пары. Представленный режим принципиально расширяет возможности инерционных приводов, позволяя отказаться от кинематических пар с сухим трением, использовать смазочные материалы, снизить износ элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anders M., Thaer M., Heiden C. Simple micropositioning devices for STM // Surface Science. vol. 181. №1-2. 1987. P.176-182
 2. Инерционный двигатель. Патент 2297072 РФ. № 2005134280/28: заявл. 08.11.2005; опубл. 10.04.2007. Бюл. № 10.
 3. Липанов А.М., Гуляев П.В., Шелковников Е.Ю. Прецизионный пьезодвигатель наноперемещений для сканирующего туннельного микроскопа // Датчики и системы. №9. 2004. С. 30-33
 4. Гуляев П.В., Шелковников Ю.К., Тюриков А.В., Осипов Н.И. Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа // Электротехника. 2010. №10. С. 8-11
 5. Липанов А.М., Гуляев П. В., Шелковников Е.Ю., Тюриков А. В.. Инерционный пьезоэлектрический шаговый привод субнанометровой точности // ПТЭ. №5. 2009. С. 121-122
 6. Hongzhuang ZHANG, Ping ZENG, Shunming Hua, Guangming CHENG. Zhigang Yang Impact drive rotary precision actuator with piezoelectric bimorphs //Front. Mech. Eng. China. 2008, №3(1). P 71-75
 7. Ленк А. Электромеханические системы: Системы с распределенными параметрами. М.: Энергоатомиздат, 1982. 472 с.
 8. Тетельбаум И.М., Шнейдер Ю.Р. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справочное пособие— М.: Энергоатомиздат, 1987. 384с.
 9. Джагунов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: Справочник.- СПб.: Политехника, 1994. 608 с.
- К.т.н., с.н.с. П.В. Гуляев, д.т.н., зав. лаб. Е.Ю. Шелковников, к.ф.-м.н., с.н.с. А.В. Тюриков, к.т.н., с.н.с. С.Р. Кизнерцев, аспирант М.Р. Гафаров, студент С.И. Липанов – (3412) 21-89-55, iit@udman.ru - Институт прикладной механики УрО РАН.*

УДК 621.317.761; 621.317.762; 621.317.7.023

ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Е.В. Ильченко

Статья посвящена разработке прибора для контроля параметров ультразвуковых колебательных систем, предназначенных для работы в составе ультразвуковых установок различного технологического назначения. Приводится структурная схема и методика проведения измерений. Анализируются результаты измерений, проведенных при помощи созданного прибора.

Ключевые слова: добротность, резонанс, контроль, ультразвук.

Введение

Ультразвук представляет собой волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц среды и характеризуется рядом отличительных особенностей по сравнению с колебаниями слышимого диапазона. В ультразвуковом диапазоне частот сравнительно легко получить направленное излучение; ультразвуковые колебания хорошо поддаются фокусировке, в результате чего по-

вышается интенсивность ультразвуковых колебаний в определенных зонах воздействия. При распространении в газах, жидкостях и твердых телах ультразвук порождает уникальные явления, многие из которых нашли практическое применение в различных областях науки и техники [1]. Высокоэффективное преобразование энергии электрических колебаний в упругие ультразвуковые, их концентрация и ввод в обрабатываемые среды