

РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

- Изд-во: Ангарской государственной технической академии, 2010. – 151с.
- Левшина, Е.С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. пособие для вузов. / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. – 320с., ил.
 - Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. / Г.И. Волович - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528с.
 - Смолов, В.Б. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации. / В.Б. Смолов, Е.П. Угрюмов - Л.: Энергия, 1976, 336с.

Колесников А.А., аспирант, iiiihaaa@hmail.com, д.т.н., профессор Пасынков Ю.А., профессор, pasinkovnstu@mail.ru - каф. защиты информации Новосибирского государственного технического университета

УДК: 621.385.833

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИНЕРЦИОННЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ТИПА

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

В статье представлены динамические модели инерционных пьезопроводов вращательно-поступательного типа. Исследовано влияние нагрузки на траекторию перемещения подвижной части привода.

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

Введение

Инерционные пьезоэлектрические приводы (ИПП) вращательно-поступательного типа на основе безлюфтовых пар винт-гайка вызывают значительный интерес благодаря многообразию доступных комплектующих, относительно низкой цене, простоте сборки и обслуживания [1-2].

На рисунке 1а представлена упрощенная конструкция ИПП в разрезе. Гайка 1 крепится на неподвижном основании, а на винте 2 устанавливается крепежная пластина 3. Пьезоэлементы 4 закреплены одним концом на пластине, а на другом конце снабжены инерционным элементом (грузом) 5. Управляются ИПП несимметричными пилообразными сигналами, при этом перемещение винта привода происходит под воздействием среза управляющего сигнала.

Постановка задачи

Одной из особенностей ИПП является существенная зависимость переходных процессов и траектории шагового перемещения от нагрузки. Под нагрузкой в данном случае будем понимать массу, момент инерции элементов конструкции и перемещаемого тела; силу трения, зависящую от устройства кинематической пары и осевого воздействия на винт; а также характер деформации пьезоэлементов.

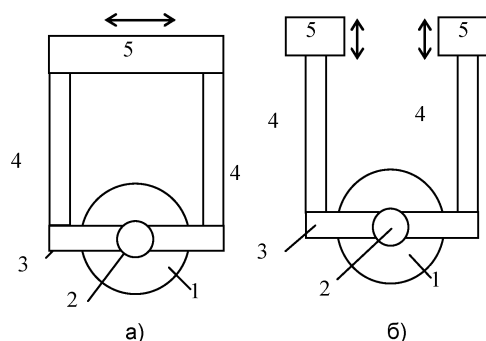


Рисунок 1 - Конструкция пьезопривода (вид сверху) с различными вариантами пьезоактивной части: а – изгибные колебания; б – продольные колебания; в – внешний вид

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИНЕРЦИОННЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ТИПА

Для исследования приводов на качественном уровне применяются схемы замещения [3-5], основанные на системе электро-механических аналогий (скорость – напряжение, сила – сила тока). На рисунках 2-3 представлены такие схемы для ИПП с различным характером деформации пьезопластин. В данном случае действует следующая система аналогий: L1 – податливость (изгибная или продольная) пьезопластин, R1 – их механическая проводимость; C1 – момент инерции крепежной пластины; C2 – момент инерции (масса) инерционного элемента; R2 – механическая проводимость вязкого трения в паре винт-гайка. Механическое сопротивление пьезоэлементов определяется согласно выражению: $c = 1/R = 2\xi\sqrt{m \cdot k}$, где ξ – логарифмический декремент затухания $\xi = Q/\pi$, Q – добротность пьезокерамики. Источник тока I1 используется для формирования пилообразных несимметричных управляющих сигналов, источник I2 – для формирования силы сухого трения в кинематической паре привода: $I2 = M \cdot \text{sign}(U(C1))$, где M – момент силы трения.

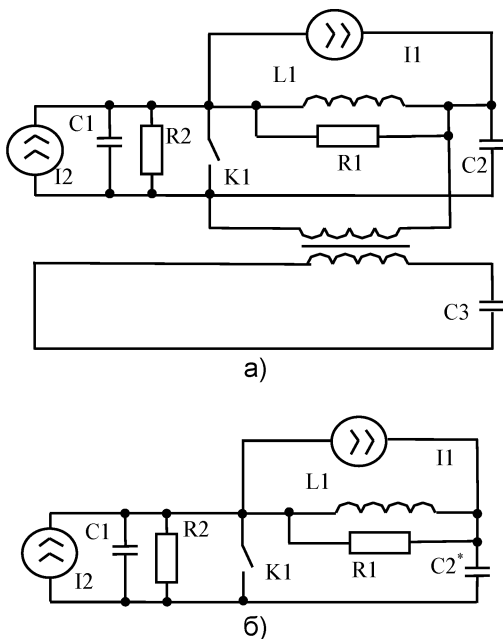


Рисунок 2 – Схема замещения привода с возбуждением колебаний изгиба: а – полная схема; б – упрощенная

Фазы относительного покоя и смещения элементов кинематической пары определяются положением ключа K1, который замкнут при выполнении следующих условий:

$$i(I1) - I(L1) - I(R1) \leq i_c; U(C1) = 0, \quad (1)$$

где i_c – ток, соответствующий величине силы трения скольжения, и разомкнут – при выполнении условия:

$$|i(I1) - I(L1) - I(R1)| \geq i_n, \quad (2)$$

где i_c – ток, соответствующий величине силы трения покоя.

Идеальный трансформатор на схемах замещения служит для связи параметров вращательного и поступательного движения, что допускает упрощение схем путем переноса элементов из одной ветви в другую. При упрощении схемы рисунка 2а выполняются следующие преобразования: $C2 = C2 + C3 \cdot l^2$, где l – длина пьезопластин, а при упрощении схемы рис.3а – преобразования: $L1^* = L1 / l_1^2$; $I1^* = I1 \cdot l_1$; $R1^* = R1 \cdot l_1^2$; $C2^* = C2 \cdot l_1^2$, где l_1 – расстояние от места крепления пьезоэлемента до оси вращения. В результате преобразования схемы замещения для изгибных и продольных колебаний приобретают одинаковый вид. Различие в численных параметрах (R1, L1, C2) проявляется в том, что переходный процесс при продольных деформациях пьезоэлемента может отличаться меньшей амплитудой и продолжительностью.

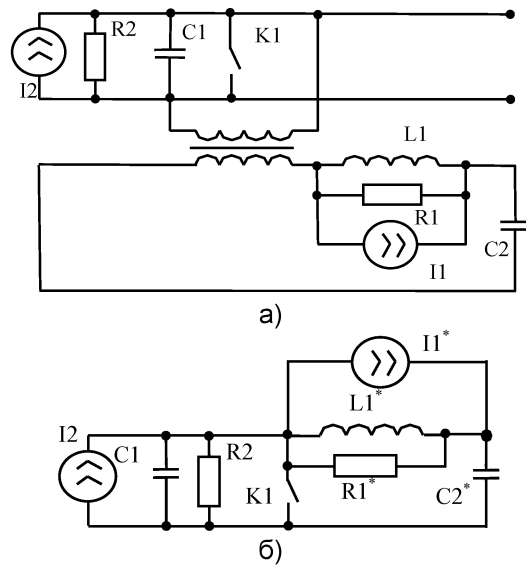


Рисунок 3 – Схема замещения привода с возбуждением продольных деформаций: а – полная схема; б – упрощенная

Обычно в кинематических парах трения инерционных приводов для создания сухого трения использовались твердые материалы, поэтому при моделировании схем замещения можно приближенно считать $i_c = i_p$. Однако, если один или оба элемента кинематической пары выполнены из пластмассы, то предварительное смещение полимера (а также смазки при ее наличии) под воздействием

РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

сдвигающей силы больше по сравнению с металлами. В результате возможно появление гистерезиса работы узла трения, вызванного существенной разностью между коэффициентами трения покоя и скольжения (до 4 раз в динамике и до 10 раз при длительном покое кинематической пары [6]). Это обусловлено разностью между энергией, необходимой для деформации, и энергией, сохраняющейся в деформированном объеме [7-8]. Учет данного факта при моделировании работы привода оказывает существенное влияние на его результаты. В частности гистерезис может привести к изменению знака и траектории перемещения винта привода, что может быть использовано для формирования перемещений с специализированной формой траектории [9]. Для управления ключом К1 и проверки условий (1) с учетом гистерезиса работы кинематической пары трения ИПП в схемах замещения используется схема, представленная на рис. 4.

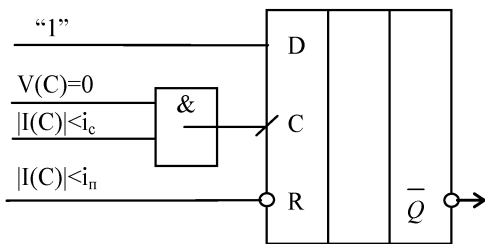


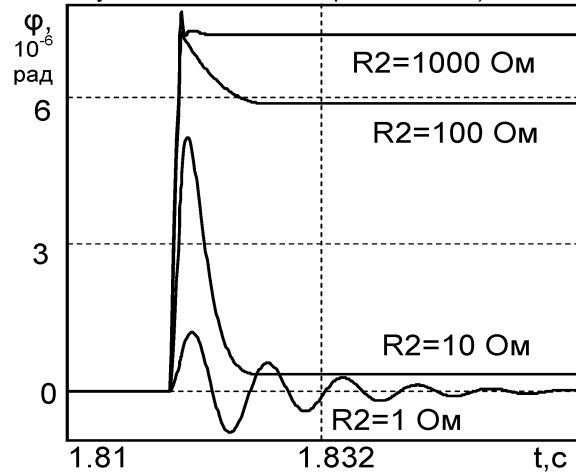
Рисунок 4 – Схема управления ключом К1

Результаты и их обсуждение

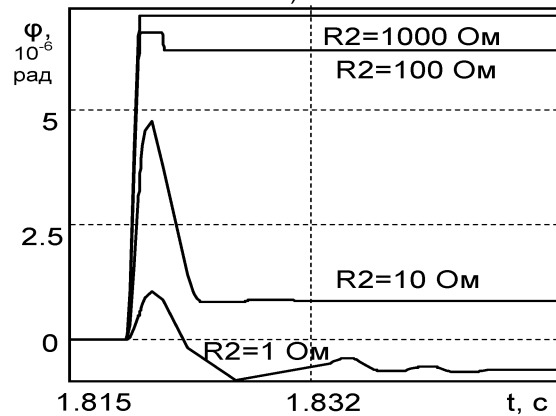
При исследовании переходных процессов в схемах замещения в качестве основных использовались следующие параметры схем замещения: $L1=0.005$ Гн; $C1=0.000001$ Ф; $C2=0.0002$ Ф; $R1=168$ Ом, $R2=100$ Ом, $M=i_c=i_n=100$ мкН·м.

На рисунке 5 представлены графики перемещения крепежного элемента при формировании среза управляющего сигнала в зависимости от вязкого трения в паре винт-гайка. При малой величине вязкого и сухого трения ($R2=1000$ Ом, $M=i_c=i_n=10$ мкН·м, рис.5а) форма переходного процесса близка к ступенчатой с малой (относительно величины перемещения) амплитудой переколебаний. Как показывает АЧХ (рисунок 6), скорость и частота перемещения крепежной части достаточно велики, поэтому условия наступления покоя выполняются быстро. При увеличении вязкого трения в кинематической паре первоначальное смещение сначала изменяется мало, а продолжительность переходного процесса и обратный ход увеличиваются. Форма приобретает аperiodический

характер (первоначальный резкий выброс и последующая медленная релаксация).



а)



б)

Рисунок 5 – Графики перемещения крепежного элемента при изменении вязкого трения: а – $M=10u$; $i_c=i_n=10u$; б – $M=100u$, $i_c=i_n=100u$

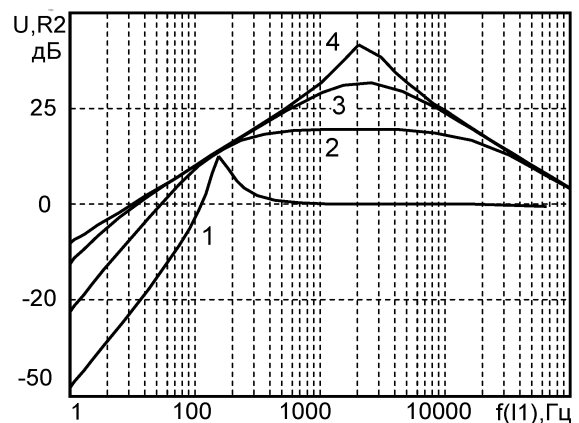


Рисунок 6 – Передаточная характеристика модели (1 – $R2=1$ Ом; 2 – $R2=10$ Ом; 3 – $R2=50$ Ом; 4 – $R2=500$ Ом)

При дальнейшем увеличении вязкого трения ($R2=1$) величина первоначального смещения снижается, а форма переходного

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИНЕРЦИОННЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ТИПА

процесса трансформируется от апериодической к колебательной, чему соответствует пик на АЧХ в области низких частот. При этом конечная величина шагового перемещения стремится к нулю.

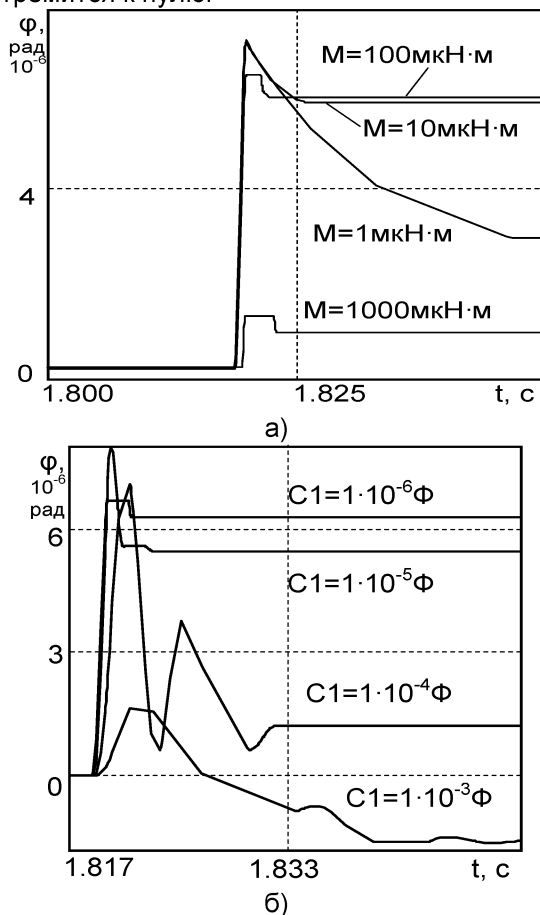


Рисунок 7 – Графики перемещения крепежного элемента: а – при изменении величины сухого трения; б – при изменении момента инерции крепежного элемента

На рисунке 5б показано влияние вязкого трения на переходный процесс при повышенной величине сухого трения ($M=i_c=i_n=100 \text{ мкН}\cdot\text{м}$). Характер этого влияния по сравнению с рисунком 5а не изменился, однако продолжительность переходного процесса уменьшилась, что вызвано более быстрым выполнением условий (1). Увеличение сухого трения при неизменном вязком трении (рисунок 7а) приводит к уменьшению обратного хода, при этом траектория перемещения винта изменяется от апериодической к ступенчатой. При значительном сухом трении ($M=i_c=i_n=1000 \text{ мкН}\cdot\text{м}$) форма переходного процесса становится ступенчатой с длительными остановками, что сопровождается снижением величины перемещения и увеличением износа. Поэтому для регулировки величины сухого трения желательно устанавливать дополни-

тельные сменные узлы, не используя основную кинематическую пару. Влияние момента инерции крепежного элемента (конденсатор C_1) заключается в том, что его повышение увеличивает величину обратного хода и усиливает колебательный характер переходного процесса (рисунок 7б), особенно, если значение C_1 приближается к значению C_2 : $C_1 \rightarrow C_2$. При $C_1 > C_2$ результирующее перемещение может изменить знак, что используется для особого типа перемещений [9].

Таким образом, использование схем замещения предоставляет широкие возможности для оптимизации конструкции ИПП в зависимости от характера нагрузки пьезоэлементов. Как показали исследования, изменение параметров нагрузки может способствовать улучшению таких характеристик привода, как обратный ход и продолжительность переходных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, П.В. Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа/ П.В. Гуляев, Ю.К. Шелковников, А.В. Тюриков, Н.И. Осипов.- Электротехника.- 2010.- №10.- С. 8-11.
2. Липанов, А.М. Инерционный пьезоэлектрический шаговый привод субнанометровой точности/ А.М. Липанов, П. В. Гуляев, Е.Ю. Шелковников, А.В. Тюриков // ПТЭ.- №5.- 2009.- С. 121-122.
3. Гуляев, П.В. Особенности применения схем замещения при проектировании инерционных пьезоэлектрических приводов/ П.В. Гуляев // Электротехника.- 2011.- № 10.- С. 8-13.
4. Ленк, А. Электромеханические системы: Системы с распределенными параметрами/ А. Ленк.- М.: Энергоатомиздат, 1982.- 472 с.
5. Тетельбаум, И.М. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справочное пособие/ И.М. Тетельбаум, Ю.Р. Шнейдер.- М.: Энергоатомиздат.- 1987.- 384с.
6. Башта, Т.М., Объемные гидравлические приводы/ Т.М. Башта, И.З. Зайченко, В.В. Ермаков и др.- М.:Машиностроение.- 1969.- 628 с.
7. Геккер, Ф.Р. Динамика машин работающих без смазочных материалов в узлах трения. / Ф.Р. Геккер.- М.: Машиностроение.- 1983. 168 с.
8. Конструкционные свойства пластмасс/Под ред. Бэра Э.- М.: Химия.- 1967.- 464 с.
9. Гуляев, П.В. Моделирование безопасных режимов работы ударного пьезоэлектрического привода в туннельном микроскопе / П.В. Гуляев // Ползуновский альманах.- 2012.- №2.- С. 28-30.

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