

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УДАРНОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ВРАЩАТЕЛЬНО- ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ТИПА

**П. В. Гуляев, М. Р. Гафаров, О. В. Мышкин,
Н. И. Осипов, С. Р. Кизнерцев**

Институт прикладной механики УрО РАН
г. Ижевск

Ударные пьезоэлектрические приводы находят широкое распространение благодаря относительной простоте конструкции и высокой точности перемещений (единицы-десятки нм) [1, 2]. Ударные приводы относятся к приводам шагового типа, поэтому при их использовании в системах высокоточного позиционирования необходимо обеспечить определенные параметры траектории шагового позиционирования. К этим параметрам можно отнести величину обратного хода, наличие колебаний, их амплитуду частоту и др. Для оценки траектории движения подвижной части данных приводов еще на этапе проектирования могут применяться схемы замещения, основанные на системе электромеханических аналогий [3, 4].

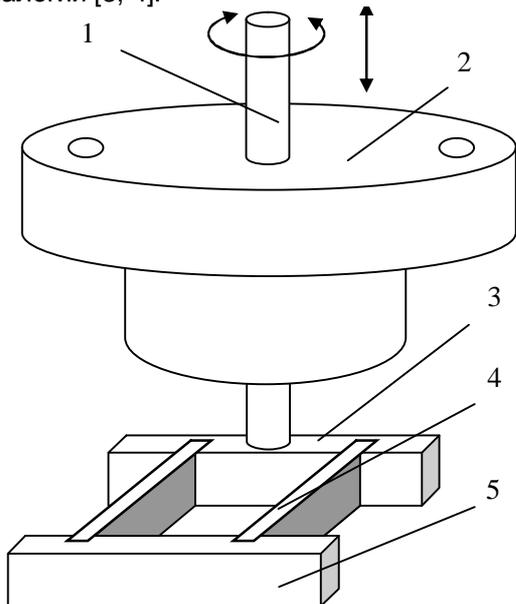


Рисунок 1 – Конструкция ударного пьезоэлектрического привода вращательно-поступательного типа

На рисунке 1 представлен ударный пьезоэлектрический привод вращательно-поступательного типа. Привод содержит безлюфтовую кинематическую пару винт 1 – гай-

ка 2; титановую пластину 3 с прорезями, закрепленную на винте; две пьезопластины 4 и латунную пластину 5, выполняющую функцию инерционного элемента (груза). Привод управляется несимметричными пилообразными сигналами (рисунок 2). При подаче полого фронта сигнала пара винт-гайка находится в состоянии покоя и происходит медленное смещение инерционного элемента. При подаче крутого среза формируется относительное смещение элементов кинематической пары, приводящее к повороту и поступательному перемещению винта.

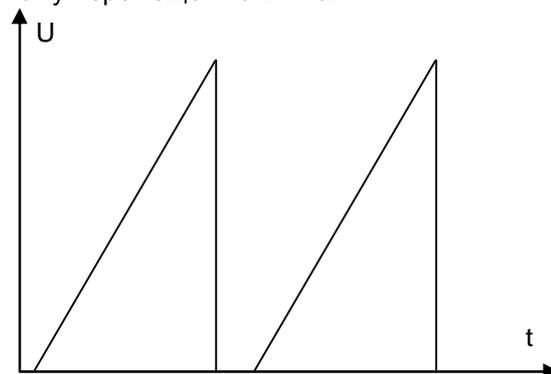


Рисунок 2 – Форма управляющих сигналов

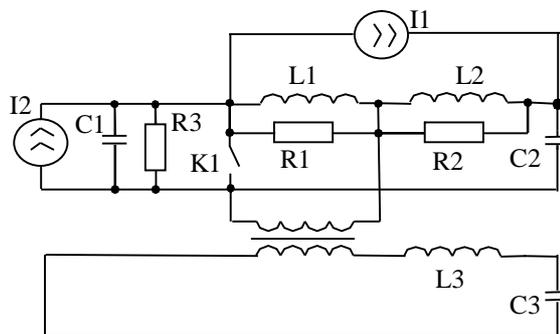


Рисунок 3 – Модель ударного пьезоэлектрического привода вращательно-поступательного типа

На рисунке 3 представлена динамическая модель представленного пьезоэлектрического привода. Модель имеет ветви угловых и линейных перемещений, связанные

между собой посредством идеального трансформатора с коэффициентом передачи $1/l$, где l – длина пьезопластин [3]. Источник тока I_1 служит для задания пилообразных управляющих воздействий. Источник тока I_2 моделирует скачкообразное изменение силы сухого трения в зависимости от скорости крепежной пластины: $I_2 = M \cdot \text{sign}(u(C1))$, где M – момент силы трения, подчиняющейся закону Амонтона; $u(C1)$ – напряжение на конденсаторе $C1$. Управляемый напряжением ключ $K1$ замкнут при относительном покое элементов кинематической пары и разомкнут в обратном случае. Замыкание ключа осуществляется при выполнении следующих условий:

$$|i(L1)| \leq i_0; u(C1) = 0, \quad (1)$$

где i_0 – ток, соответствующий величине силы трения покоя. Индуктивности $L1 - L3$ используются для представления податливости пьезопластин, а резисторы $R1, R2$ – для представления их механической проводимости. Нагрузку пьезоэлемента составляют элементы: $C1$ – момент инерции крепежной пьезопластины; $C2, C3$ – соответственно момент инерции и масса инерционного элемента; $R3$ – механическая проводимость трения в паре винт-гайка. Для расчета величины резисторов $R1, R2$ используются выражения:

$$R1 = R2 = (2\xi \sqrt{m/n_b}); \xi = Q/\pi,$$

где Q – добротность пьезокерамики (табличное значение); n_b – изгибная податливость, m – масса пьезопластин. Величина $R3$ определяется исходя из экспериментальных оценок аналогов пары винт-гайка исследуемого привода. Приблизительный расчет величин индуктивностей осуществляется с помощью следующих выражений [3]:

$$L1 = L2 = \frac{n_b}{2l^2}; L3 = -\frac{n_b}{6}.$$

Величины $C1, C2$ определяются согласно известным выражениям в зависимости от плотности, размеров соответствующих элементов и их удаления от центра вращения.

В качестве элемента $K1$ в программах схемотехнического моделирования (PSPICE) может использоваться ключ, управляемый напряжением. На рисунке 1 представлена одна из возможных схем управления, где также применяются управляемые ключи, один из которых ($K2$) управляется током, а другой ($K3$) – напряжением.

На рисунке 5 представлена траектория движения подвижной части привода при формировании среза управляющего сигнала амплитудой 0.15 А и длительностью 20 мкс.

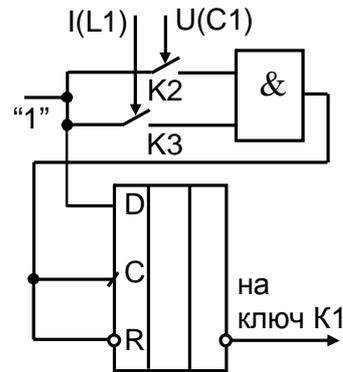


Рисунок 4 – Схема управления ключом $K1$

Моделирование осуществлялось при следующих параметрах схемы замещения привода: $C1=0.000001$ Ф; $C2=0.0003$ Ф; $C3=0.01$ Ф; $R1=R2=20$ Ом; $L3=1$ Ом; $L1=L2=0.0001$ Гн; $L3=0.0000003$ н; $I=0.1$ м; $i_0=30$ мА. Момент силы трения скольжения (источник I_2) составил при этом $M=2 \cdot 10^{-3}$ Н·м.

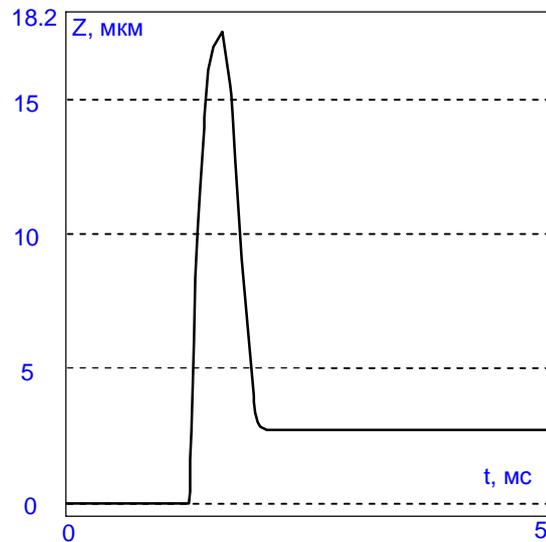


Рисунок 5 – Траектория шагового перемещения подвижной части ударного пьезоэлектрического привода

Анализ траектории шагового перемещения показывает наличие обратного хода, который может быть уменьшен посредством повышения величины i_0 . Проверка адекватности модели осуществлялась с помощью зондового микроскопа Solver P47, настроенного на измерение поступательного перемещения винта привода (рис. 6). Полученная при измерении форма траектории шагового перемещения винта ударного пьезоэлектрического привода, представленная на рис. 7, находится в хорошем соответствии с результатами моделирования.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УДАРНОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ТИПА

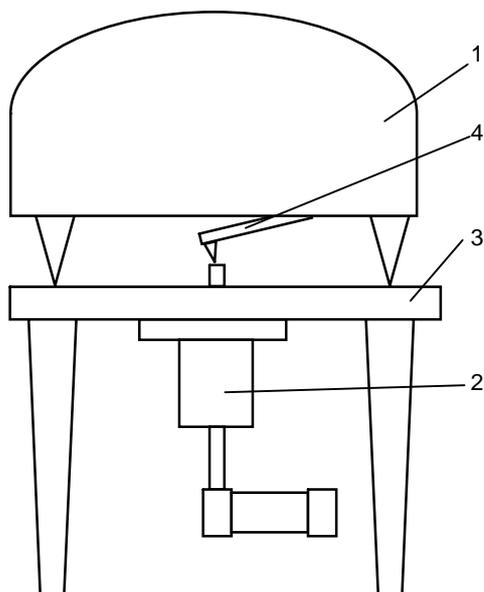


Рисунок 6 – Схема установки для измерения перемещений (1 – зондовый микроскоп; 2 – привод; 3 – основание; 4 – кантилевер)

Таким образом, представленная в настоящей работе модель ударного пьезоэлектрического привода может считаться адекватной. Это дает возможность предварительного исследования характеристик приводов и снижения издержек на проектирование и изготовление устройств позиционирования на их основе.

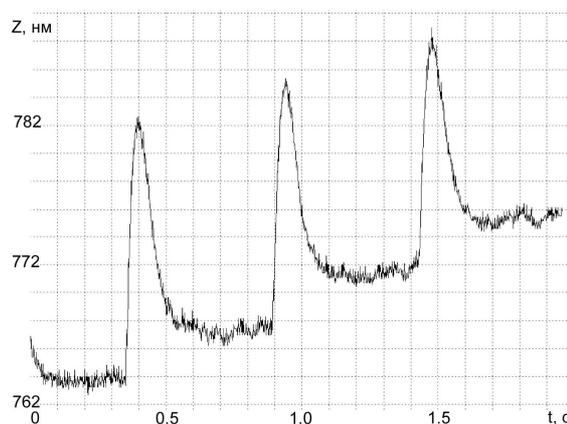


Рисунок 7 – Кривая поступательного перемещения винта привода

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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
2. Липанов А.М., Гуляев П. В., Шелковников Е.Ю., Тюриков А. В.. Инерционный пьезоэлектрический шаговый привод субнанометровой точности // ПТЭ.-№5.-2009.-С. 121-122
3. Ленк А. Электромеханические системы: Системы с распределенными параметрами. М.: Энергоатомиздат, 1982.- 472 с.
4. Тетельбаум И.М., Шнейдер Ю.Р. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справочное пособие– М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384с.