

1544774

Московский ордена ленина, Ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

УДК 681.513.3

ГРИШКО Владимир Анатольевич

ПРЕЦИЗИОННЫЕ СИЛОВЫЕ СЛЕДЯЩИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

05.02.03 - Системы приводов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1994

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук, с.н.с.
Дубин А.Е.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лохин В.М.

кандидат технических наук, с.н.с.
Рахманов Е.В.

Ведущая организация - Центральный научно - исследовательский институт автоматики и гидравлики

Защита диссертации состоится "27" июня 1994 г.
в 10 ч. на заседании специализированного совета К.053.15.06.
"Машиностроение" в Мосу
университете им. Н.Э.
Бауманская ул. д.5.

Ваши отзывы в 2-х экз.
высылать по указанному

С диссертацией мож
им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разосл

Ученый секретарь
специализированного
к.т.н., с.н.с.

1544774

Актуальность. Постановлением СМ СССР от 23 января 1986 г. по видеотехнике, Постановлением правительства РФ №171-II от 18 марта 1992 г. и Решением ГК № 58 от 24 апреля 1991 поставлен ряд задач, связанных с необходимостью разработки высокоточных электроприводов перспективных автоматических систем.

В области современного станкостроения примерами таких задач являются: точение деталей сложной формы, например барабанов видеомагнитофонов; кинематическое стружкодробление; создание активных демпферов и опор обрабатывающего и измерительного оборудования и др. Силовые следящие приводы, требуемые для решения этих задач должны обладать высокой динамической точностью, составляющей доли микрона в широкой полосе частот (до 1000 с^{-1}) и развивать при этом значительные динамические усилия. Создание таких приводов на базе традиционных исполнительных элементов (двигателей постоянного тока, переменного тока, двигателей большого момента), а также гидроприводов сопряжено с значительными техническими сложностями, а в ряде случаев - невозможно.

Путем решения этих проблем является применение прецизионных приводов на базе линейных пьезоэлектрических двигателей. В МГТУ им. Н.Э. Баумана проведены исследования силовых линейных пьезоэлектрических двигателей с целью создания на их основе электроприводов прецизионных токарных модулей.

В настоящее время хорошо изучены физические процессы, происходящие в пьезокерамике. Созданы реальные образцы пьезопроводов в Центральном научно-исследовательском институте автоматики и гиравлики, в НПО "Астрофизика", в Московском энергетическом институте и др. Однако использование электроприводов на базе силовых линейных пьезоэлектрических двигателей в качестве высокодинамичных исполнительных устройств прецизионных токарных модулей затруднено значительными колебательными свойствами пьезокерамики.

Успешным средством борьбы с указанными явлениями может служить использование корректирующих цепей по информации от встроенных в конструкцию пьезодвигателя и электропривода пьезодатчиков.

Таким образом, тема работы, посвященной созданию силовых линейных прецизионных пьезоэлектрических приводов является актуальной.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1544774

Гришко В.А. Прецизионные с

Цель работы. Создание прецизионных силовых следящих электроприводов линейных перемещений, обеспечивающих новые, более высокие показатели качества (точности, производительности, надежности и др.) обрабатывающего и измерительного оборудования.

Задачи исследования.

1. Разработать инженерную методику расчета силового прецизионного пьезоэлектрического привода линейных перемещений.
2. Разработать математические модели динамики силовых линейных пьезоэлектрических приводов и датчиков, необходимые для формирования методики расчета.
3. Провести экспериментальные исследования, подтверждающие теоретические положения работы и эффективность применения силовых линейных электроприводов на базе пьезодвигателей.

Методы исследования. В теоретических исследованиях использовались частотные и модальные методы теории автоматического регулирования и управления, а также системы аналитических вычислений "АЛЬКОР" и "РЕДЬЮС". В экспериментальных исследованиях использованы численные методы решения систем линейных дифференциальных уравнений, методы идентификации, а также пакет прикладных программ "МАТЛАБ".

Научная новизна.

1. Разработана методика синтеза линейных силовых следящих электроприводов на базе пьезодвигателей.
2. Разработаны математические модели динамики линейных силовых пьезоэлектрических приводов.
3. Разработаны математические модели динамики и исследованы возможности пьезоэлектрических датчиков, встроенных в конструкцию пьезодвигателя и привода.

Практическая ценность. Результаты проведенных исследований позволяют существенно повысить качество прецизионных силовых следящих приводов линейных перемещений.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы внедрены в ОКР ОКБМ АО "ТАНТАЛ" г. Саратов, при проектировании токарного прецизионного автоматизированного роботизированного модуля "ТПАРМ-100М" и прецизионной измерительной машины "КИМ ТВ".

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы фундаментальных

наук", - Москва, 1991; на 2-й международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы фундаментальных наук", - Москва, 1994; на международной научно-технической выставке "АВТОМАТИЗАЦИЯ-94", - Москва, 1994; на заседании кафедры "Автоматические системы и робототехника" МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано три печатные работы, в том числе одно авторское свидетельство. Кроме того, две работы находятся в печати.

Объем работы. Диссертация изложена на 156 страницах машинописного текста и содержит введение, четыре главы, выводы по главам и заключение, включает 35 рисунков и список литературы из 120 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы положения, определяющие ее научную новизну.

В первом разделе рассмотрено состояние вопроса об использовании пьезодвигателей и пьезодатчиков при создании прецизионных силовых следящих систем; обоснована постановка задачи исследования.

Обзор литературных источников, патентной и научно-технической документации показал, что прецизионные электроприводы, применяемые в составе современного технологического оборудования должны иметь широкую полосу пропускания; обеспечивать высокую динамическую точность; создавать значительные усилия в ограниченном объеме; обладать высокой надежностью, малым весом и габаритами. Этим требованиям в наиболее полной мере отвечают электроприводы, построенные на базе пьезоэлектрических двигателей.

Изучению пьезодвигателей, как элементов систем автоматического регулирования посвящены работы С.М. Афонина, А.А.Ерофеева, Е.А. Иванова, А.А. Никольского, В.В. Сильченко и др. Этими же авторами поставлена задача коррекции динамических свойств пьезоприводов. Вопросы практической реализации прецизионных электроприводов на базе пьезодвигателей рассмотрены в работах В.Л. Кацевича, А.А. Никольского, В.А. Смирнова, Г.П. Тарасова и др.

Однако, математические модели динамики пьезоприводов, полученные в исследованиях названных авторов, не учитывают особенности конструктивного исполнения пьезодвигателей и привода, в целом.

Кроме того, недостаточно изучен вопрос о применении пьезодатчиков в силовых пьезоприводах.

Вопросу применения пьезодатчиков в различных физических системах посвящены работы Б.С. Аронова, А.А. Горбатова, Г.Е. Рудашевского, В.В. Малова и др. Однако, большинство устройств, описанных в этих работах представляют собой вибро-резонансные системы, что затрудняет их применение в прецизионных приводах. При этом, в литературе недостаточно освещены вопросы использования пьезодатчиков для измерения значения деформации пьезодвигателей и ее производных: скорости, ускорения и третьей производной по времени, а также - для коррекции электроприводов на базе пьезодвигателей.

В связи с этим задачами исследования стали:

1. Разработка инженерной методики расчета силового прецизионного пьезоэлектрического привода линейных перемещений.
2. Разработка математических моделей динамики силовых линейных пьезоэлектрических приводов и датчиков, необходимых для формирования методики расчета.
3. Проведение экспериментальных исследований, подтверждающих теоретические положения работы и эффективность применения силовых линейных электроприводов на базе пьезодвигателей.

Во втором разделе получены математические модели динамики силового линейного пьезоэлектрического привода и пьезоэлектрических датчиков; показаны возможности измерения величины, скорости, ускорения, третьей производной по времени от деформации пьезодвигателя при помощи встроенных в привод пьезодатчиков.

Рассмотрим силовой линейный электропривод на базе пьезодвигателя, представляющего собой набор пьезоэлектрических пластин, соединенных между собой механически последовательно, а электрически - параллельно. Пьезодвигатель вместе с встроенным в его конструкцию пьезодатчиком предварительно сжат при помощи упругого элемента. В приводе имеется "внешний" пьезодатчик, установленный между пьезодвигателем и нагрузкой. Для анализа рассматриваемого электропривода примем допущения: 1. пьезодвигатель закреплен на абсолютно жестком неподвижном основании; 2. пьезодвигатель перемещает абсолютно жесткую инерционную нагрузку; 3. масса нагрузки существенно больше массы пьезодвигателя и пьезодатчиков. С учетом принятых допущений механическая модель электропривода примет вид, показанный на рис.1, где $M_{дв}$, M_B , M_H - "приведенная эквивалентная

масса" пьезодвигателя, масса встроенного пьезодатчика и нагрузки соответственно; X_1, X_2, X_3 - смещение центра масс пьезодвигателя, встроенного пьезодатчика и нагрузки с присоединенной к ней массой внешнего пьезодатчика соответственно; $G_{дв}, G_B, G_H, G_{пр}$ - жесткость пьезодвигателя, встроенного, внешнего пьезодатчиков и упругого элемента; $H_{дв}, H_B, H_H, H_{пр}$ - коэффициенты диссипативных потерь пьезодвигателя, встроенного, внешнего пьезодатчиков и упругого элемента; $F_{дв}, F_B, F_H$ - пьезоэлектрические усилия, развиваемые пьезодвигателем, встроенным и внешним пьезодатчиком соответственно; F_v - внешнее возмущающее усилие.

Полная математическая модель динамики этой системы имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} M_{дв} \ddot{X}_1 &= F_{дв} - F_B - G_{дв} X_1 - H_{дв} \dot{X}_1 + G_B (X_2 - X_1) + \\ &+ H_B (\dot{X}_2 - \dot{X}_1), \\ M_B \ddot{X}_2 &= F_B - F_H - G_{пр} X_2 - H_{пр} \dot{X}_2 - G_B (X_2 - X_1) - \\ &- H_B (\dot{X}_2 - \dot{X}_1) + G_H (X_3 - X_2) + H_H (\dot{X}_3 - \dot{X}_2), \\ M_H \ddot{X}_3 &= F_H - F_v - G_H (X_3 - X_2) + H_H (\dot{X}_3 - \dot{X}_2), \\ \dot{F}_{дв} &= \frac{1}{T_{дв}} \left(K_{одв} [U_{дв} - K_{пдв} R_{дв} \dot{X}_1] - F_{дв} \right), \\ \dot{F}_B &= \frac{1}{T_B} \left(K_{об} K_{пв} R_B (\dot{X}_1 - \dot{X}_2) - F_B \right), \\ \dot{F}_H &= \frac{1}{T_H} \left(K_{он} K_{пн} R_H (\dot{X}_2 - \dot{X}_3) - F_H \right), \\ \dot{U}_B &= \frac{1}{T_B} \left(K_{пв} R_B (\dot{X}_1 - \dot{X}_2) - U_B \right), \\ \dot{U}_H &= \frac{1}{T_H} \left(K_{пн} R_H (\dot{X}_2 - \dot{X}_3) - U_H \right), \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

где $T_{дв}, T_B, T_H$ - электрические постоянные времени пьезодвигателя, встроенного и внешнего пьезодатчиков соответственно; $R_{дв}, R_B, R_H$ - выходное сопротивление усилителя мощности пьезодвигателя, входные сопротивления измерительных усилителей встроенного, внешнего пьезодатчиков соответственно; $U_{дв}$ - ЭДС усилителя мощности пьезодви-

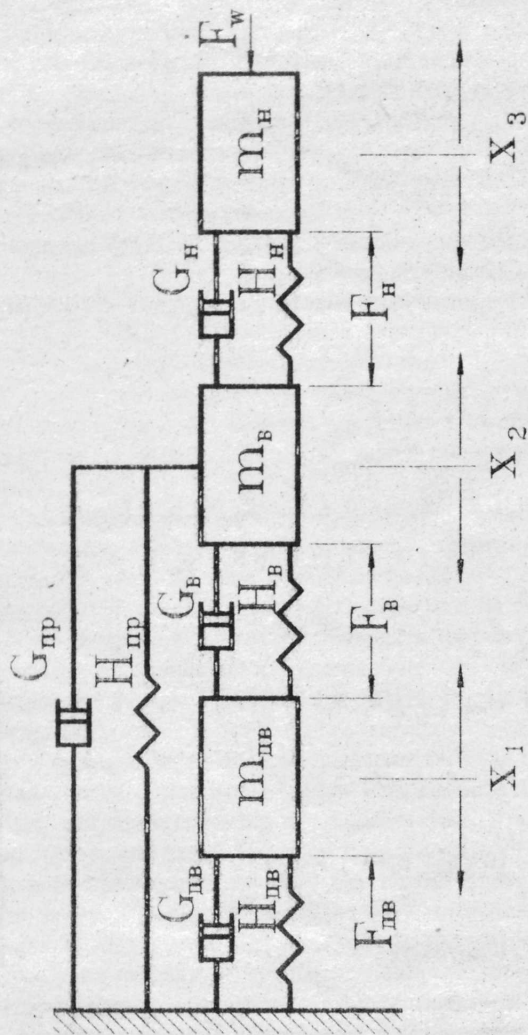


Рис. 1

гателя. Коэффициенты прямого и обратного пьезоэффекта: пьезодвигателя - $K_{\text{одв}}$, $K_{\text{пдв}}$; встроенного пьезодатчика - $K_{\text{ов}}$, $K_{\text{пв}}$; наружного пьезодатчика - $K_{\text{он}}$, $K_{\text{пн}}$. Выходные напряжения встроенного и внешнего пьезодатчиков $U_{\text{в}}$, $U_{\text{н}}$.

Математическая модель динамики этой системы в виде структурной схемы показана на рис.2.

Анализ полной математической модели системы позволил определить возможности и сформировать, в дальнейшем, рекомендации по их применению. В работе показано, что пьезоэлектрические датчики могут быть использованы в составе привода в качестве: датчиков величины и скорости деформации пьезодвигателя (встроенные пьезодатчики), а также ускорения и третьей производной по времени деформации пьезодвигателя (внешние пьезодатчики). При этом их математические модели динамики удобно представлять в виде передаточных функций, вид которых зависит от величин входных сопротивлений измерительных усилителей.

- Для встроенных пьезодатчиков:

$$W_{\text{дт}}^{\text{в}}(p) = \frac{U_{\text{в}}(p)}{\Delta l_{\text{дв}}(p)} = \frac{\left[G_{\text{пр}} + (H_{\text{пр}} + G_{\text{пр}} T_{\text{в}})p + (M_{\text{н}} + H_{\text{пр}} T_{\text{в}})p^2 + M_{\text{н}} T_{\text{в}} p^3 \right] K_{\text{пв}} R_{\text{в}} p}{\left[G_{\text{в}} + G_{\text{пр}} + \left(K_{\text{ов}} K_{\text{пв}} R_{\text{в}} + H_{\text{в}} + H_{\text{пр}} + (G_{\text{в}} + G_{\text{пр}}) T_{\text{в}} \right) p + \right.} \quad (2)$$

$$\left. \left[M_{\text{н}} + (H_{\text{в}} + H_{\text{пр}}) T_{\text{в}} \right] p^2 + M_{\text{н}} T_{\text{в}} p^3 \right] (1 + T_{\text{в}} p)}$$

$$\tilde{W}_{\text{дт}}^{\text{в}}(p) = \frac{K_{\text{пв}} (G_{\text{пр}} + H_{\text{пр}} p + M_{\text{н}} p^2)}{K_{\text{ов}} K_{\text{пв}} + (G_{\text{в}} + G_{\text{пр}}) C_{\text{кв}} + (H_{\text{в}} + H_{\text{пр}}) C_{\text{кв}} p + M_{\text{н}} C_{\text{кв}} p^2} \quad (3)$$

- Для внешних датчиков

$$W_{\text{дт}}^{\text{н}}(p) = \frac{U_{\text{н}}(p)}{\Delta l_{\text{дв}}(p)} = \frac{K_{\text{пн}} R_{\text{н}} M_{\text{н}} p^3}{\left[G_{\text{н}} + (K_{\text{он}} K_{\text{пн}} R_{\text{н}} + H_{\text{н}} + G_{\text{н}} T_{\text{н}}) p + (M_{\text{н}} + H_{\text{н}} T_{\text{н}}) p^2 + M_{\text{н}} T_{\text{н}} p^3 \right]} \quad (4)$$

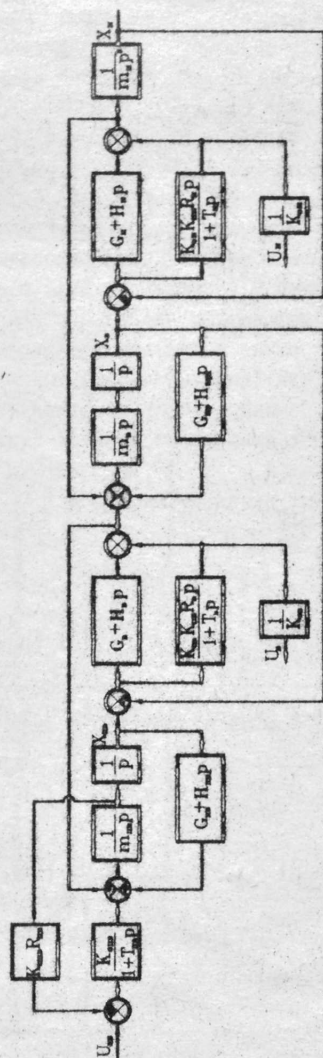


Рис. 2

$$\ddot{W}_H^H(p) = \frac{K_{\text{пн}} M_H p^2}{K_{\text{он}} K_{\text{пв}} + G_H C_{\text{кн}} + H_H C_{\text{кн}} p + M_H C_{\text{кн}} p^2} \quad (5)$$

В работе проведен анализ влияния внешних возмущающих воздействий на встроенные в привод пьезодатчики.

В работе показано, что упрощенная математическая модель динамики пьезопривода, при наличии в нем пьезодатчиков величины, скорости, ускорения и третьей производной по времени от деформации пьезодвигателя имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{дв}} \ddot{X}_a &= F_{\text{дв}} - F_{\text{в}} - (G_{\text{дв}} + G_{\text{пр}}) \dot{X}_a - (H_{\text{дв}} + H_{\text{пр}}) \dot{X}_a, \\ F_{\text{дв}} &= \frac{1}{T_{\text{дв}}} \left[\dot{K}_{\text{одв}} [U_{\text{дв}} - K_{\text{пдв}} R_{\text{дв}} \dot{X}_a] - F_{\text{дв}} \right], \\ U_{\text{дт}}^{\text{в}} &= \frac{K_{\text{пв}} G_{\text{пр}}}{K_{\text{ов}} K_{\text{пв}} + G_{\text{в}} C_{\text{кв}}} X_a, \\ \dot{U}_{\text{дт}}^{\text{в}} &= \frac{1}{T_{\text{в}}} \left[\frac{K_{\text{пв}} R_{\text{в}} G_{\text{пр}}}{G_{\text{в}} + G_{\text{пр}}} \dot{X}_a - \tilde{U}_{\text{дт}}^{\text{в}} \right], \\ U_{\text{дт}}^{\text{н}} &= \frac{K_{\text{пн}} M_H}{K_{\text{он}} K_{\text{пн}} + G_H C_{\text{кн}}} \ddot{X}_{\text{дв}}, \\ \dot{U}_{\text{дт}}^{\text{н}} &= \frac{1}{T_H} \left[\frac{K_{\text{пн}} R_H M_H}{G_H} \ddot{X}_a - \tilde{U}_{\text{дт}}^{\text{н}} \right], \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $C_{\text{кв}}$, $C_{\text{кн}}$ — электрическая емкость встроенного и внешнего пьезодатчика соответственно.

В работе определены области рабочих частот пьезоприводов, для которых справедлива упрощенная математическая модель (6).

В разделе также получены: математическая модель динамики пьезопривода для случая использования его в составе многоканального привода и математическая модель динамики двухканального электропривода с двигателем постоянного тока и пьезодвигателем.

Третий раздел диссертационной работы посвящен формированию методики расчета линейных прецизионных силовых следящих электро-

приводов с пьезоэлектрическими двигателями и датчиками, а также — в разработке рекомендаций по использованию пьезоэлектрических датчиков, встроенных в конструкцию электропривода.

Методика состоит из трех основных частей.

В первой части методики определяются конструктивные параметры пьезодвигателя, на основании исходных данных о диапазоне требуемых перемещений, о требуемом диапазоне рабочих частот и о массе перемещаемой нагрузки. На основании этих данных выбирается тип применяемой керамики и рассчитываются длина активной части пьезодвигателя, площадь его поперечного сечения, жесткость пьезодвигателя, его электрическая емкость и коэффициент диссипативных потерь от сил внутреннего неупругого сопротивления; вычисляется требуемая жесткость внешнего упругого элемента и формируются требования к усилителю мощности.

Во второй части методики исходя из требования обеспечения желаемого качества протекания переходных процессов (времени переходного процесса, величине перерегулирования, точности) определяется количество пьезодатчиков и место их установки в системе, осуществляется синтез корректирующих устройств.

На третьем этапе производится расчет параметров пьезодатчиков, проверяется возможность встраивания всех необходимых датчиков в реальную конструкцию. Если такая возможность отсутствует — проектируется регулятор с наблюдающим устройством идентификации.

В работе проведен анализ возможностей коррекции динамических свойств пьезопроводов методами модального управления и получены аналитические выражения, связывающие коэффициенты желаемого характеристического полинома замкнутой системы с конструктивными параметрами пьезодвигателя и пьезодатчиков для следующих случаев: использовании в системе трех пьезодатчиков (датчики деформации, скорости деформации пьезодвигателя и датчик развиваемого им усилия); двух пьезодатчиков (датчики величины и скорости пьезодвигателя); одного пьезодатчика — датчика деформации или скорости деформации пьезодвигателя.

Полученные параметры регуляторов равны:

— в случае применения трех пьезодатчиков:

$$K_1 = \frac{T_{дв} (b_a M_H - H_{дв}) - H_H}{K_{одн}} \times \frac{K_{ов} K_{пв} + G_{вкв}}{K_{пв} G_{пр}} \quad \}$$

$$K_2 = \frac{T_{дв} (b_1 M_H - G_{дв}) - H_{дв} - K_{одв} K_{ов} R_{дв}}{K_{ов} K_{дв}^B}, \quad (7)$$

$$K_3 = \frac{T_{дв} b_0 M_H - G_{дв}}{K_{одв} \tilde{K}_{дв}^H};$$

- при применении двух пьезодатчиков:

$$K_1 = \left[\frac{b_0 T_{дв} M_H - G_{дв}}{K_{одв} G_{дв}} - K_3 \right] G_{дв} \frac{K_{ов} K_{пв} + G_B C_{кв}}{K_{пв} G_{пр}},$$

$$K_2 = \left[\frac{T_{дв}}{K_{одв}} \left(b_1 M_H - C_{дв} - \frac{H_{дв}}{T_{дв}} \right) - K_3 H_{дв} - K_{пдв} R_{дв} \right] / K_{дв}^B, \quad (8)$$

$$K_3 = \frac{1}{K_{одв}} \left[T_{дв} \left(b_2 - \frac{H_{дв}}{M_H} \right) - 1 \right];$$

- при применении одного пьезодатчика:

$$K_d = \left[\frac{1}{K_{одв}} \left(\frac{b_0 T_{дв} M_H}{G_{дв}} - 1 \right) - K_y \right] G_{дв},$$

$$K_c = \frac{T_{дв}}{K_{одв}} \left[b_1 M_H - C_{дв} - \frac{H_{дв}}{T_{дв}} \right] - K_y H_{дв} - K_{пдв} R_{дв}, \quad (9)$$

$$K_y = \frac{1}{K_{одв}} \left[T_{дв} \left(b_2 - \frac{H_{дв}}{M_H} \right) - 1 \right],$$

где K_1, K_2, K_3 - коэффициенты усиления измерительных усилителей в цепях обратных связей по величине, скорости и ускорению деформации пьезодвигателя; K_d, K_c, K_y - коэффициенты обратных связей по деформации, скорости и ускорению соответственно; b_0, b_1, b_2 - коэффициенты желаемого характеристического полинома замкнутой системы.

Четвертый раздел посвящен экспериментальному подтверждению теоретических результатов, полученных в диссертационной работе. Проведены натурные испытания электропривода экспериментальной ус-

тановки, построенного на базе пьезодвигателя, рассчитанного в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3. Результаты испытаний подтвердили правомерность допущений, принятых в разделе 2 при разработке математической модели динамики линейного силового следящего электропривода с пьезоэлектрическим двигателем и пьезодатчиками. Результаты исследования полной математической модели (I) разомкнутого электропривода с пьезоэлектрическим двигателем методами математического моделирования с высокой степенью точности повторяют результаты натурных испытаний. Так, амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики пьезопривода экспериментальной установки, полученные в соответствии с математическими моделями (I), а также при натурных испытаниях, имеют отличия, не превышающие 10% в полосе частот, доходящей до 2000 с^{-1} , что показывает правомерность допущений, принятых при разработке математических моделей электропривода и их адекватность реальному техническому объекту.

Корректность проведенных упрощений полной математической модели подтверждена результатами экспериментальных исследований пьезодатчиков и разработанных с их применением пьезоприводов экспериментальной установки и токарного модуля.

Проведена экспериментальная проверка адекватности полных математических моделей динамики пьезоэлектрических датчиков, установленных в приводе - выражений (2)-(5) и соответствующих им упрощенных математических моделей - выражений (6), - реальным. На рис.3 показаны логарифмические амплитудно-частотные характеристики пьезодатчика, встроенного в конструкцию пьезодвигателя при изменении величины входного сопротивления измерительного усилителя. Из рис.3 видно, что встроенный в пьезодвигатель пьезодатчик является: при малых значениях величины входного сопротивления измерительного усилителя - датчиком скорости, а при больших значениях - датчиком величины деформации пьезодвигателя, что подтверждает достоверность математических моделей (3) и (2) соответственно. На рис.4 показаны логарифмические амплитудно-частотные характеристики "внешнего" пьезодатчика при изменении величины входного сопротивления измерительного усилителя. Из рис.4 видно, что внешний пьезодатчик является: при малых значениях величины входного сопротивления - датчиком третьей производной от величины деформации пьезодвигателя, а при больших значениях - датчиком ускорения, что

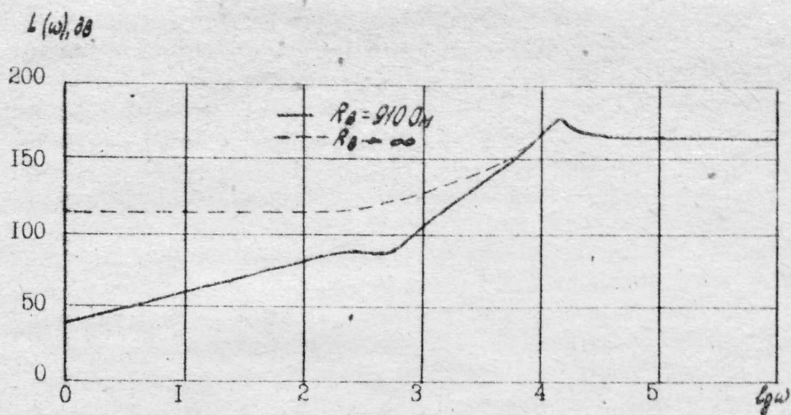


Рис. 3

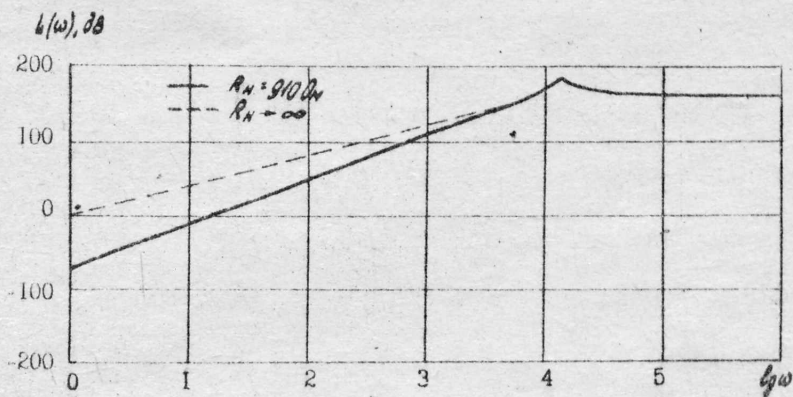


Рис. 4

подтверждает достоверность математических моделей (5) и (4) соответственно. Из рис.3 и рис.4 видно, что для каждого из исследованных пьезодатчиков существует область частот, в которой возможно использовать упрощенные математические модели динамики, входящие в систему уравнений (6). В диссертационной работе выявлены границы этих частотных областей.

С целью подтверждения теоретически полученных данных о возможности использования прямого пьезоэффекта для демпфирования колебательных свойств пьезодвигателя, был исследован на удар электропривод экспериментальной установки, в котором пьезодвигатель был в одном случае "электрически свободен", а другом - "электрически зажат". Эксперимент показал, что в электрически свободном пьезодвигателе коэффициент диссипативных потерь на внутреннее неупругое сопротивление составляет $H_{дв} = 2.3 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$ ($\xi_{дв} = 0.023$), а при нагружении его усилителем мощности с $R_{дв} = 910 \text{ Ом}$ - возрастает до $H_{з} = 2.38 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$ ($\xi_{з} = 0.2$), увеличиваясь, таким образом, на порядок. При этом, теоретически рассчитанные значения коэффициентов диссипативных потерь отличаются от экспериментально измеренных не более, чем на 10%.

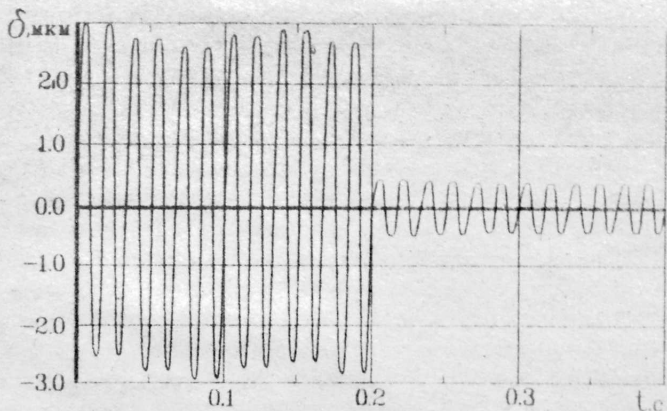
Окончательная проверка теоретических исследований, проведенная в диссертационной работе, осуществлена при реализации экспериментального образца двухканального электропривода прецизионного точерного автоматизированного модуля "ТПАРМ-100М". Применение полученных теоретических результатов позволило при осуществлении режима кинематического стружкодробления уменьшить динамическую ошибку системы в целом в 6 раз, что подтверждается актами испытаний. Характер изменения динамической ошибки электропривода при включении в работу пьезоэлектрического канала показан на рис.5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований в диссертационной работе получены следующие основные научно-технические результаты.

1. Разработана инженерная методика расчета силового прецизионного пьезоэлектрического привода линейных перемещений.

2. Разработаны математические модели динамики силовых линейных пьезоэлектрических приводов и датчиков, позволяющие с высокой



степенью достоверности проводить анализ динамических процессов, протекающих в силовых пьезоприводах

3. Показано, что с помощью встроенных в привод пьезоэлектрических датчиков, может быть измерена величина деформации пьезодвигателя или перемещения нагрузки, ее скорость, ускорение и третья производная по времени, а также значения и скорости изменения усилий, действующих в местах установки пьезодатчиков.

4. Теоретические исследования, проведенные в диссертационной работе и эффективность применения силовых линейных электроприводов на базе пьезодвигателей подтверждены экспериментальными исследованиями.

На основании полученных результатов могут быть сделаны следующие выводы:

1. Разработанная инженерная методика расчета силового линейного прецизионного пьезоэлектрического привода линейных перемещений позволяет проектировать высокочастотные прецизионные силовые электроприводы. Область рабочих частот пьезопроводов, превышает сотни герц, величины перемещаемых масс достигают сотен килограмм, а обеспечиваемая динамическая точность составляет доли микрон.

2. Разработанные математические модели динамики линейных пьезоприводов

электросилового привода и датчиков, позволяют значительно уменьшить объем экспериментальных исследований динамических процессов, протекающих в силовых пьезоприводах, сократить время и снизить стоимость их проектирования.

3. Математические модели динамики пьезодатчиков представлены в виде, позволяющем использовать их при исследовании и проектировании приводов с другими типами исполнительных элементов.

4. Предложенный, в рамках методики расчета пьезоприводов, способ оценки диссипативных потерь в пьезодвигателе позволяет выдвигать требования к электронной части системы. Выполнение этих требований обеспечивает демпфирование колебательных свойств пьезодвигателей за счет явления прямого пьезоэффекта.

5. Проведенные натурные испытания двухканального электропривода прецизионного токарного модуля "ТПАРМ-100М", имеющего в своем составе пьезопровод показали, что применение силовых следящих пьезоэлектрических приводов позволяет значительно, в данном случае в 6 раз, повысить динамическую точность уже существующих электроприводов, выполненных на базе традиционных исполнительных элементов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. А.с. 1764031 (СССР) МКИ G 05 В 11/01 Следящий электропривод / А.Е. Дубин, В.А. Гришко, В.М. Губанов, Г.А. Орлов // Б.И. - 1992. - №25.

2. Гришко В.А. Пьезоэлектрический привод прецизионных машин // Актуальные проблемы фундаментальных наук: Сб. докл. Междунаrodn. научн.- техн. конф. - М., 1991. - Т.10. - С. 38-40.

3. Rupp W., Dubin A., Grishko V. Piezo - antriebe. - München: Betten & Resch, 1992. - 23 s.

Кроме того, находятся в печати:

Гришко В.А., Шербин А.М. Пьезоэлектрические двигатели с мультипликативными механизмами // Актуальные проблемы фундаментальных наук: Сб. докл. 2-й Международн. научн.- техн. конф. - М., 1994.

Дубин А.Е., Шербин А.М., Гришко В.А. Линейный пьезоэлектрический двигатель с встроенными пьезодатчиками // Актуальные проблемы фундаментальных наук: Сб. докл. 2-й Международн. научн.- техн. конф. - М., 1994.