

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

НАДЕР Джихад Наим

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ В
ДИСКРЕТНОЕ ДВИЖЕНИЕ С КОРРЕКТИРУЮЩИМИ ОБРАТНЫМИ
СВЯЗЯМИ

Специальность 05.13.05 - "Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1994

Ав 30.06

ЛНБ України ім. В. Стефаника



Работа выполнена на кафедре информационно-измерительной техники Одесского Политехнического университета

Научный руководитель

академик, доктор технических наук

Джагунов Р.Г.

Официальные оппоненты

доктор технических наук профессор

В.А.Парасочкин

кандидат технических наук доцент

В.А.Кузнецов

Ведущее предприятие

НПО "Пищепромавтоматика", г.Одесса

Защита состоится "23" 6 1994 г. в 14 час.

_____ мин. в конференц-зале на заседании специализированного совета Д.068.19.01 Одесского политехнического университета. 270044, г.Одесса, пр. Шевченко, 1, ОГПУ.

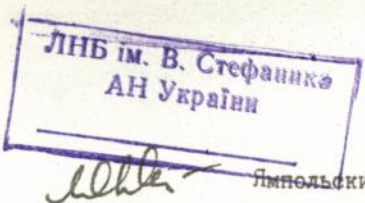
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "10" 5 1994 г.

Отзыв, заверенный печатью, в одном экземпляре просим направить в наш адрес.

Ученый секретарь специализированного совета

к.т.н. доцент



[Signature] Ямпольский Ю.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Технические средства, предназначенные для преобразования электрических сигналов в линейное и угловое перемещение или вращательное движение, нашли широкое применение в системах программного управления станками, в следящих устройствах дистанционных систем передачи, в периферийных устройствах вычислительной техники. В настоящее время для этой цели широко применяются различные электромагнитные шаговые преобразователи перемещения. Такие преобразователи перемещения, используемые в частности, в печатающих устройствах для продвижения печатающей головки вдоль строки обладают рядом существенных недостатков, главными из которых являются трудность автоматизации процесса изготовления вследствие наличия намагничивающих обмоток, большие массогабаритные размеры, обуславливающие значительное время разгона и торможения рабочего органа, что ухудшает характеристики стартоостопного режима работы и обуславливает наличие электромагнитной помехи, влияющей на чувствительные элементы схемы управления.

Имеющийся опыт в создании пьезоэлектрических преобразователей перемещения, лишенных большинства указанных недостатков электромагнитных шаговых двигателей, позволил, как показано в работе, разработать новые разновидности таких преобразователей, которые успешно могут быть применены для указанных целей.

Для создания высокоэффективных пьезоэлектрических преобразователей перемещения потребовалось исследовать комплекс теоретических вопросов, ранее не рассматривавшихся для существующих пьезоэлектрических пьезопреобразователей. Поэтому разработка новых разновидностей пьезоэлектрических преобразователей перемещения, лишенных большинства недостатков электромагнитных шаговых двигателей и способных успешно заменять их в устройствах цифровой вычислительной техники и в системах управления производственными процессами, является весьма современной и актуальной.

Цель работы: Целью диссертационной работы является исследование, разработка и создание пьезоэлектрических преобразователей перемещения с улучшенными техническими характеристиками для периферийных устройств вычислительной техники.

Достижение указанной цели предусматривает:

1. Разработку физической модели пьезоэлектрических преоб-

разователей перемещения.

2. Разработку эквивалентных схем пьезоэлектрических преобразователей перемещения с учетом нелинейности фрикционного контакта.

3. Исследование математической модели пьезоэлектрических преобразователей перемещения с целью теоретического определения основных параметров.

4. Создание новых разновидностей реверсивных пьезоэлектрических преобразователей с улучшенными техническими показателями и экспериментальные исследования их характеристик.

Методика проведения исследований. Методы исследования базируются на основах теории пьезоэффекта, теории колебаний, методе электромеханических аналогий, теории электрических цепей и методах гармонической линеаризации.

Достоверность научных результатов подтверждается экспериментальными исследованиями, проведенными при разработке и внедрении реверсивных пьезоэлектрических преобразователей линейных и угловых перемещений.

Научную новизну работы определяют следующие результаты:

1. Эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя перемещений с учетом потерь и нелинейности фрикционного контакта.

2. Математическая модель, учитывающая нелинейность пьезоэлектрических преобразователей перемещения, на основе которой определены основные параметры разработанных преобразователей.

3. Методика уменьшения неравномерности и повышения частоты вращения ротора в дискретном режиме с применением пьезодатчиков в цепи обратной связи.

Практическая ценность. На основе результатов исследований разработаны реверсивные пьезоэлектрические преобразователи линейных и угловых перемещений для использования в периферийных устройствах вычислительной техники, в частности, для продвижения печатающей головки, которые успешно могут применяться также в других областях техники. Предложен пьезоэлектрический шаговый преобразователь перемещения с уменьшенной неравномерностью и повышенной частотой вращения ротора в дискретном режиме благодаря применению пьезодатчиков в цепи обратной связи.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка лите-

ратуры и приложений.

Диссертационная работа изложена на 128 страницах машинописного текста, включает 43 рисунка.

Содержание работы. Во введении описывается состояние исследуемого вопроса, обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется научная новизна и практическая ценность выполненных исследований.

В первой главе работы описывается механизм работы пьезоэлектрических преобразователей перемещений /ПЭП/, принцип действия которых базируется на одновременном использовании двух типов акустических колебаний. Показывается, что различные конструктивные варианты ПЭП, состоящие из неподвижной части - статора /ведущего звена/ и подвижной части - ротора /ведомого звена/, могут быть представлены одной физической моделью. При этом приводятся различные конструкции ПЭП и дается описание элементов их основных узлов. Рассматривается принцип построения кинематики ПЭП классического типа /рис.1/ и показывается, что результаты исследований этого преобразователя могут быть распространены для изучения режимов работы других различных модификаций ПЭП. При этом для полного охвата условий работы ПЭП эквивалентная схема, построенная на основе электромеханической аналогии, должна содержать элементы взаимодействия отдельных ее узлов, в том числе фрикционные контакты, представляющие собой нелинейные компоненты. Учитывая сказанное, составлена эквивалентная схема, представленная на рис. 2.

На рис. 1 и 2 F_0 - сила, деформирующая материал осциллятора; F_0' - сила, действующая со стороны осциллятора на ротор; F_3 - сила, не совершающая работа; F_T - сила, вращающая ротор. Наличие перечисленных сил вызывает возникновение колебаний скорости;

V_0 - скорость конца осциллятора; V_T - скорость осциллятора в направлении действия силы F_T .

При движении конца осциллятора вперед, вследствие неидеальности фрикционного контакта, происходит его проскальзывание относительно ротора. В результате этого скорость движения поверхности ротора V_T' отстает от скорости движения конца осциллятора V_T . На эквивалентной схеме /участок 1 рис.2/ трансформатор Тр.1 принимается за идеальный трансформатор, характеризующий электромеханическую связь с коэффициентом трансформации

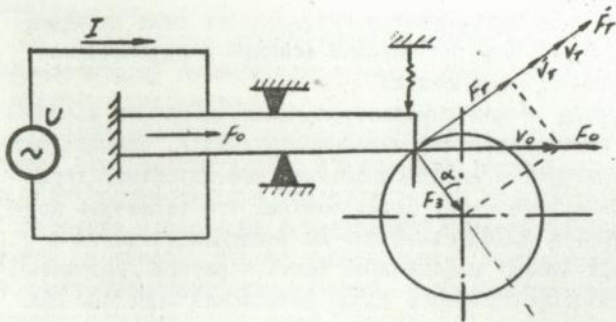


Рис. I

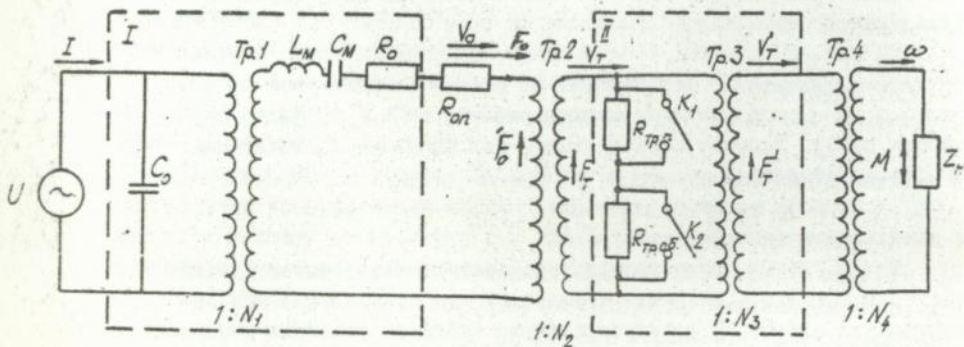


Рис. 2

$$N_1 = 2 b d_{31} / S_{11}^E,$$

где b - ширина пьезоэлемента; d_{31} - пьезомодуль; а S_{11}^E - упругая податливость пьезоматериала.

Суммарное сопротивление акустических потерь осциллятора определяется по формуле

$$R_{\Sigma} = R_0 R_{Bx0} / R_{Bx0},$$

в которой R_0 - сопротивление механических потерь внутри осциллятора, определяемое по формуле; $R_0 = \omega m / 2Q$

R_{Bx0} - входное электрическое сопротивление ненагруженного двигателя, измеряемое при максимальной скорости вращения ротора;

R_{Bx0} - входное электрическое сопротивление при максимальном токе, протекающем через пьезоэлемент; ω , m и Q - соответственно резонансная частота, масса и добротность свободного пьезоэлемента, измеряемая при максимальном токе, протекающем через осциллятор.

На этом же участке схемы рис.2 C_0 - статическая емкость пьезоэлемента; C_M и L_M - соответственно механическая емкость и индуктивность пьезоэлемента.

На II участке схемы рис.2 четырехполюсник характеризует фрикционный контакт между пьезокерамическим элементом и ротором, который объединяет сопротивления R_{T2} и R_{T3} потерь на трение при прямом и обратном направлении в точке касания износостойкой прокладки с ротором; сопротивления R_{02} характеризует потери на трение в опорах. Трансформатор Тр.2 учитывает угол контакта осциллятора с ротором с коэффициентом трансформации $N_2 = \cos \alpha$, а Тр.3 отражает преобразование энергии колебаний осциллятора в энергию вращения по поверхности ротора с коэффициентом трансформации N_3 . Трансформатор Тр.4 учитывает радиус осциллятора $N_4 = r$; Z_h - сопротивление нагрузки.

Включенное состояние ключа К2 /отключенное состояние ключа К1/ соответствует механическому контакту между осциллятором и ротором и обуславливает движение ротора, а включенное состояние К1 /отключенное состояние К2/ - отсутствие механического контакта между осциллятором и ротором, т.е. неподвижности ротора.

Изложенный подход по созданию эквивалентной схемы позволил разработать математическую модель, досконально исследованную во второй главе работы.

При теоретическом исследовании ПЭПТ было учтено множество факторов, к основным из которых отнесены многокомпонентность объекта, нелинейность упругих элементов и силы внутреннего трения в материале, возникающие при деформациях упругих элементов, так как неучет этих факторов при анализе приводит к возникновению большой погрешности.

С целью достоверного получения результатов теоретических исследований составлена математическая модель ПЭПТ, которая с учетом вышеуказанных факторов, вызывающих нелинейность объекта, приведена к линейному уравнению методом гармонической линеаризации. Вместе с тем показано, что гармоническая линеаризация составленной модели позволяет изучать условия работы пьезоэлектрических двигателей сложной конфигурации с учетом нелинейного взаимодействия и потерь, происходящих на его элементах.

Поскольку математическая модель устройства содержит уравнения ведущего и ведомого звеньев, а также описывает их взаимодействие, то она является нелинейной, так как представляет объект, преобразующий колебательное движение пьезоэлемента в поступательное перемещение рабочего органа, выполняющего роль механического выпрямителя, т.е. характеризуется уравнением колебаний пьезоэлектрического элемента /осциллятора/ с учетом потерь в материале:

$$\frac{\partial^2 \Delta(x,t)}{\partial t^2} - \gamma^2 \frac{\partial^2 \Delta(x,t)}{\partial x^2} - q \frac{\partial^3 \Delta(x,t)}{\partial x^2 \partial t} = 0, \quad /1/$$

где $\Delta(x,t)$ - перемещение точки x в момент времени t ;
 γ - скорость распространения волн в упругой среде /в пьезокерамике/; $q = \gamma^2 \alpha / 2\pi$ - линеаризованный коэффициент сил внутреннего трения; $\alpha = 0,015$ - коэффициент поглощения.

Уравнение граничных условий между ведущим и ведомым звеньями имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta(0, t) = 0 \\ \left(\frac{q}{\delta^2} + 1\right) ES \frac{\partial \Delta(\ell, t)}{\partial x} = F(t) - \varphi \left[\Delta, \frac{\partial \Delta(\ell, t)}{\partial t}, V_0(t) \right], \end{array} \right. \quad / 2 /$$

где E - модуль упругости; S - площадь поперечного сечения пьезокерамического элемента; $F(t) = ed \cdot \ddot{u}(t)$ - эффективная сила возбуждения, связанная с напряжением между электродами; E - пьезоэлектрическое постоянное напряжение; d - ширина пьезокерамического стержня; а $\ddot{u}(t)$ - гармоническое напряжение $\ddot{u}(t) = U_0 \cos \omega t$, в котором U_0 - амплитуда напряжения.

В выражении / 2 / через $\varphi(\Delta, V, V_0)$ обозначена силовая функция взаимодействия между ведущим и ведомым органами, являющаяся нелинейной функцией $\Delta = \Delta(\ell, t)$, скорости конечной точки $V = \partial \Delta(\ell, t) / \partial t$ и скорости рабочего органа $V_0(t)$.

Обозначив для простоты функцию $\varphi(\Delta, V, V_0)$ через $\varphi(t)$, рассмотрим варианты взаимодействия осциллятора с ротором:

а) с вязким трением;

$$\varphi(t) = \begin{cases} K(V - V_0) & \text{- во время механического контакта} \\ 0 & \text{- при отсутствии контакта,} \end{cases} \quad / 3 /$$

где K - коэффициент вязкого трения.

б) с сухим трением:

$$\varphi(t) = \begin{cases} K_c(\Delta - \delta^0) & \text{- во время механического контакта} \\ 0 & \text{- при отсутствии контакта,} \end{cases} \quad / 4 /$$

где K_c - коэффициент сухого трения, а δ^0 - зазор между концом осциллятора и рабочим органом.

в) с механическим контактом без проскальзывания;

$$\varphi(t) = \begin{cases} m_0 \frac{\partial^2 \Delta(\ell, t)}{\partial t^2} + K_0 \frac{\partial \Delta(\ell, t)}{\partial t} + F_H & \text{- во время механического} \\ 0 & \text{го контакта} \end{cases} \quad / 5 /$$

- при отсутствии контакта,

где m_0 - эффективная масса рабочего органа; K_0 - коэффициент вязкого трения между опорой и рабочим органом; F_H - сила, приложенная к рабочему органу со стороны нагрузки.

В выражениях /3/ - /5/, характеризующих взаимодействия осциллятора с ротором, предполагается, что рабочий орган представляет собой абсолютно твердое тело, движение которого описывается уравнением

$$m_0 \frac{dV_0 t}{dt} + K_0 V_0(t) = \Phi(t) - F_H \quad /6/$$

и поэтому решение поставленной задачи производится методом гармонической линеаризации.

При этом, если учитывать ярковыраженные фильтрующие свойства пьезокерамического стержня, то перемещение его конечной точки можно представить в виде:

$$\Delta(\xi, t) = \Delta_u + a_u \cos(\omega t + \varphi_u), \quad /7/$$

где Δ_u - постоянная составляющая перемещения; a_u - амплитуда перемещений; а φ_u - начальная фаза перемещения.

Для анализа основных уравнений по методу гармонической линеаризации необходимо определить их коэффициенты, которые представляются следующими формулами:

$$m_\varphi = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \Phi(\psi) d\psi; \quad (\psi = \omega t) \quad /8/$$

$$K_{\varphi_2} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \Phi(\psi) \cos \psi d\psi; \quad /9/$$

$$\beta_\varphi = \frac{1}{\pi a_u \omega} \int_0^{2\pi} \Phi(\psi) \sin \psi d\psi; \quad /10/$$

где m_φ , K_φ и β_φ - коэффициенты ряда Фурье.

В результате для случая взаимодействия с вязким трением получена следующая система дифференциальных уравнений относительно скорости ротора:

$$\begin{cases} m_0 \frac{dV_0(t)}{dt} + K_0 V_0(t) = -K\omega a_u \sin(\omega t - \varphi_u) - K V_0(t) - F_H & / 11 / \\ m_0 \frac{dV_0(t)}{dt} + K_0 V_0(t) = -F_H. \end{cases}$$

Решение этой системы представляется в следующем виде:

$$V_0(t) = V_0(t_0) e^{-\beta(t-t_0)} - \frac{1}{m_0} \int_{t_0}^t \left[K\omega a_u \sin(\omega s - \varphi_u) + F_H \right] e^{-\beta(t-s)} ds; \quad t_0 \leq t \leq t_1 \quad / 12 /$$

$$V_0(t) = V_0(t_1) e^{-\beta_0(t-t_1)} - \frac{F_H}{m_0} \int_{t_1}^t e^{-\beta_0(t-s)} ds; \quad t_1 \leq t \leq t_0 + \frac{2\pi}{\omega},$$

где t_0 и t_1 - начальный и конечный моменты механического контакта; $\beta = (K + K_0) / m_0$ и $\beta_0 = K_0 / m_0$ - постоянные, определяющие затухания и искажения скорости ротора.

На основании этой системы уравнений для рассматриваемого типа трения получены следующие выражения для определения скорости $V_0(t)$ при взаимодействии и отсутствии взаимодействия осциллятора с рабочим органом:

$$V_0(t) = \left[V_0(t_0) e^{-\beta(t-t_0)} \right] - \left[\frac{F_H}{\beta m_0} (1 - e^{-\beta(t-t_0)}) - \frac{K a_u}{m_0} \frac{\omega}{\beta^2 + \omega^2} \left[\beta \sin(\omega t - \varphi_u) - \omega \cos(\omega t - \varphi_u) \right] + e^{-\beta(t-t_0)} \frac{K a_u}{m_0} \frac{\omega}{\beta^2 + \omega^2} \left[\beta \sin(\omega t_0 - \varphi_u) - \omega \cos(\omega t_0 - \varphi_u) \right] \right]^{13 /}$$

$$t_0 \leq t \leq t_1,$$

$$V_0(t) = \left[V_0(t_1) e^{-\beta_0(t-t_1)} \right] - \left[\frac{F_H}{\beta_0 m_0} (1 - e^{-\beta_0(t-t_1)}) \right]; \quad t_1 \leq t \leq t_0 + \frac{2\pi}{\omega}. \quad / 14 /$$

Для этого случая коэффициенты гармонической линеаризации:

$$m_{\varphi} = \frac{K}{2\pi} \left\{ \int_{\psi_0}^{\psi_1} \omega a_u \sin \psi d\psi - \int_{\psi_0}^{\psi_1} V_0(\psi) d\psi \right\} = \frac{K}{2\pi} \left\{ \left[\omega a_u (\cos \psi_1 - \cos \psi_0) \right] - \left[V_0(t_0) + \frac{F_H}{\beta m_0} + \frac{K a_u}{m_0} \frac{\omega}{\beta^2 + \omega^2} \cdot (\beta \sin \psi_0 - \omega \cos \psi_0) \right] \cdot \frac{1 - e^{-\beta(\psi_1 - \psi_0)}}{\beta} + \left[\frac{F_H}{\beta m_0} (\psi_1 - \psi_0) \right] - \frac{K a_u}{m_0} \frac{\omega}{\beta^2 + \omega^2} \left[\beta (\cos \psi_1 - \cos \psi_0) + \omega (\sin \psi_1 - \sin \psi_0) \right] \right\} \quad / 15 /$$

$$K_{\varphi} = \frac{K}{\pi a_u} \left\{ \int_{\psi_0}^{\psi_1} -\omega a_u \sin \psi \cos \psi d\psi - \int_{\psi_0}^{\psi_1} V_0(\psi) \cos \psi d\psi \right\} = \frac{K}{\pi a_u} \left\{ -\omega a_u x \right.$$

$$\times \left(\frac{\sin^2 \psi_1 - \sin^2 \psi_0}{2} \right) - \frac{1}{b^2 + 1} \left[V_0(t_0) + \frac{F_H}{b m_0} + \frac{K a_u \omega}{m_0} \frac{\omega}{b^2 + \omega^2} (b \sin \psi_0)_{16/} \right.$$

$$- \omega \cos \psi_0 \left. \right] \cdot \left[(\bar{b} \cos \psi_0 - \sin \psi_0) - (\bar{b} \cos \psi_1 - \sin \psi_1) e^{-\bar{b}(\psi_1 - \psi_0)} \right] + \left[\frac{F_H}{b m_0} (\sin \psi_1 - \right.$$

$$\left. - \sin \psi_0) + \frac{K a_u \omega}{m_0} \frac{\omega}{b^2 + \omega^2} \left[\frac{b}{2} (\sin^2 \psi_1 - \sin^2 \psi_0) - \frac{\omega}{2} (\psi_1 - \psi_0) - \frac{\omega}{4} (\sin^2 \psi_1 - \sin^2 \psi_0) \right] \right\}.$$

$$\beta_{\varphi} = -\frac{K}{\pi a_u \omega} \left\{ \int_{\psi_0}^{\psi_1} -\omega a_u \sin^2 \psi d\psi - \int_{\psi_0}^{\psi_1} V_0(\psi) \sin \psi d\psi \right\} = -\frac{K}{\pi a_u \omega} x_{17/}$$

$$\times \left\{ -\frac{\omega a_u}{2} (\psi_1 - \psi_0) + \left[\frac{\omega a_u}{4} (\sin 2\psi_1 - \sin 2\psi_0) \right] - \frac{1}{b^2 + 1} \left[V_0(t_0) + \frac{F_H}{b m_0} + \right.$$

$$\left. + \frac{K a_u \omega}{m_0} \frac{\omega}{b^2 + \omega^2} (a \sin \psi_0 - \omega \cos \psi_0) \right] \cdot \left[(\bar{b} \sin \psi_0 + \cos \psi_0) - (\bar{b} \sin \psi_1 + \cos \psi_1) \right] \times$$

$$\times e^{-\bar{b}(\psi_1 - \psi_0)} - \left[\frac{F_H}{b m_0} (\cos \psi_1 - \cos \psi_0) + \frac{K a_u \omega}{m_0} \frac{\omega}{b^2 + \omega^2} \left[\frac{b}{2} (\psi_1 - \psi_0) - \frac{b}{4} \times \right. \right.$$

$$\left. \times (\sin 2\psi_1 - \sin 2\psi_0) - \frac{\omega}{2} (\sin^2 \psi_1 - \sin^2 \psi_0) \right] \};$$

где

$$\psi = \omega t - \varphi_u; e^{\frac{b t}{\omega}} = e^{\frac{b}{\omega}(\omega t - \varphi_u)} = e^{\frac{b \varphi_u}{\omega}} = e^{\bar{b} \psi}; \bar{b} = \frac{b}{\omega}.$$

Для определения периодической составляющей движения в основном уравнении /1/ учитываются граничные условия /2/, в результате чего имеем следующее уравнение:

$$\left| L^{-1}(l, s) + K_{\varphi} + j\omega \beta_{\varphi} \right| (\Delta - \Delta_u) = F_0 \cos(\omega t + \varphi_F), \quad /18/$$

где

$$L_p(l, j\omega) = \frac{\lambda l^2}{E S \omega^2} \cdot \frac{e^{\lambda l} - e^{-\lambda l}}{e^{\lambda l} + e^{-\lambda l}} \quad - \text{оператор}$$

динамической податливости, связывающий перемещение конца пьезокерамического элемента с эффективной силой возбуждения $F(t)$. Поэтому с привлечением ЭВМ исследованы зависимости амплитудно-

частотных характеристик пьезокерамики $L(\ell)$ от ω , которые подтвердили, что максимальное значение амплитуды колебаний конечной точки осциллятора определяется при резонансной частоте.

Пользуясь этой зависимостью, определена ширина полосы энергонесущей частоты.

Для построения амплитудно-частотной характеристики колебания осциллятора с ротором, воспользовавшись выражением /18/, найдена зависимость

$$a_u = \frac{e d \bar{u}(t)}{|L'_\ell(\ell, S) + K_\Phi + j\omega\beta_\Phi|};$$

на основе которой получена характеристика, смещенная относительно характеристики без ротора, что необходимо учитывать при проектировании новой конструкции ПЭШ.

Используя условия сопряжений и периодичности движения, произведены соответствующие расчеты для случаев взаимодействия с сухим трением и механическим контактом без проскальзывания. Результаты расчета приведены в работе в виде графических зависимостей, представляющих собой рабочие характеристики ПЭШ.

С целью увеличения мощности и уменьшения габарита при одной и той же мощности, в работе предлагается конструкция пьезопреобразователя с двумерным возбуждением, в которой осциллятор возбуждается продольными и поперечными колебаниями. При этом точка прикосновения осциллятора с ротором колеблется как по оси x , так и по оси y , т.е. $x(\omega_x t) = a_x \cos(\omega_x t + \varphi_x)$; $y(\omega_y t) = a_y \sin(\omega_y t + \varphi_y)$, где a_x и a_y - соответственно амплитуды колебаний конца осциллятора по осям

x и y . В зависимости от соотношений a_x / a_y , ω_x / ω_y и $\varphi_x - \varphi_y$ траектория конца осциллятора представляется эллипсом с различными фокусными расстояниями. Оптимальным выбором указанных соотношений обеспечивается увеличение мощности и улучшение характеристик ПЭШ.

Третья глава диссертации посвящена разработке и исследованию новых разновидностей ПЭШ с улучшенными характеристиками и расширенными функциональными возможностями.

Так, в случае возбуждения осциллятора независимыми поперечными и продольными колебаниями упрощается конструкция ПЭШ, увеличивается мощность, уменьшаются габариты и т.д. Подобные ПЭШ содержат цилиндрический осциллятор с продольными и поперечными электродами возбуждения, на торцовых поверхностях которых расположен ротор. Осциллятор взаимодействует с ротором посредством износостойких накладок, расположенных на торцевых поверхностях цилиндра, которые закреплены к точкам колеблющимся синфазно. Электроды, создающие колебания по высоте и по окружности цилиндра, позволяют получить движения, обусловленные одноименной поляризацией пьезоэлемента по толщине стенки цилиндра. Благодаря указанным свойствам конструкции ПЭШ увеличивается его мощность, а также уменьшается величина напряжения питания.

Для создания ПЭШ линейного и вращающегося действия произведено исследование по определению оптимальных расчетов размеров и параметров их отдельных узлов, а также экспериментальное исследование рабочих характеристик модификаций, результаты которых подтверждают превосходство новых конструкций по сравнению с существующими. Спроектированный линейный ПЭШ имеет следующие параметры: номинальная скорость - 0,17 м/с; развиваемое усилие при номинальной скорости рабочего органа - 5Н /при использовании пьезоматериала марки ЦТЭС-3 - до 7Н/; минимальный шаг - $5 \cdot 10^{-6}$ м; максимальный шаг - определяется длиной направляющей, напряжением питания при номинальной скорости - 40 В; частота питания - 76 кГц; масса - 0,3 кг в зависимости от материала направляющей.

Далее в главе приводится описание разработанных пьезоэлектрического и пьезоэлектромагнитного шаговых преобразователей перемещений.

С целью повышения скорости углового поворота ротора в дискретном режиме совмещение пьезоэлектрического датчика без увеличения габаритных размеров в зубцах статора шаговых двигателей электромагнитного типа обеспечивает выдачу информации о положении ротора на каждый шаг угла поворота и исключает необходимость использования самокоммутирующего диска с прорезями, что существенно уменьшает инерционную массу /нагрузку/ и увеличивает разрешающую способность, повышает частоту самокоммутиации /переключения напряжения питания управляющих обмоток/ и

скорость углового поворота ротора, т.е. позволяет в некоторых пределах самооптимизировать по быстродействию систему управления датчиками положения ротора. Предложенный вариант управления обмотками шаговых двигателей при помощи пьезоэлектрического датчика отличается простотой и обеспечивает требуемую линейность в шаговом режиме. Разработанные конструкции ПЭПП линейного и вращающего движения предназначены для продвижения головки печатающих устройств и могут успешно применяться в робототехнике, медицине, приборостроении и других областях.

Основные результаты и выводы:

1. На основе исследований существующих ПЭПП различного назначения показано, что большинство их конструкций не удовлетворяют требованиям по быстродействию и развиваемому моменту на оси для периферийных устройств, что требует разработки новых типов преобразователей перемещений.

2. Разработана эквивалентная схема, отражающая физические принципы действия ПЭПП с учетом нелинейности и потерь во фрикционном контакте между осциллятором и ротором.

3. Разработана математическая модель с учетом физических явлений, происходящих в ПЭПП, на основе которой определены основные режимные параметры двигателя.

4. Предложены разновидности линейных и вращающихся ПЭПП реверсивного действия с возбуждением двумерных колебаний, предназначенные для перемещения головки печатающих устройств, которые могут широко применяться также и в других областях техники.

5. Выбраны и экспериментальным путем обоснованы оптимальные размеры осциллятора ПЭПП, возбуждаемого двумерными колебаниями и обеспечивающего увеличение мощности и скорости движения.

6. На основе теоретических и экспериментальных исследований построены соответствующие характеристики ПЭПП новой конструкции, которые совпадают с требуемой точностью и показывают, что созданные разновидности ПЭПП при одном и том же напряжении питания вдвое увеличивают развиваемое усилие и скорость движения рабочего органа.

7. Разработаны новые конструкции пьезоэлектрических и пьезоэлектромангнитных шаговых преобразователей перемещения и схемы управления ими с применением пьезодатчиков, которые обеспечивают уменьшение неравномерности и повышение скорости углового поворота ротора на шаг в дискретном режиме.

ЛНБ ім. В. Стефанива
АН України

457114

AB 30.060

AB 30.060