

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЛЕНТОЧНОГО ПРИВОДА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

И.Н. Давришова

Азербайджанский Технический Университет, Баку, Азербайджан
e-mail: irada.davrishova@gmail.com

Резюме. В статье получено выражение для определения критических значений длины биморфного элемента для ленточного пьезоэлектрического привода, применяемых в микротехнологии, конструктивной особенностью рассматриваемое правило перемещений заключается в том, что он имеет двухступенчатую ленточную компоновку в которой и прижимные и движительные пьезоэлектрические биморфные пластины установлены торцами на основании перпендикулярно друг другу и по разные стороны ленточного механизма. Получены резонансные характеристики и неоднородная синусоидальная кривая для критических значений длины биморфных пьезоэлектрических пластин.

Ключевые слова: Ленточный пьезоэлектрический исполнительный механизм, биморфные пьезоэлектрические пластины, компьютерные модели, характеристики механического резонанса, характеристики для критических значений длины пластины.

AMS Subject Classification: 26A06.

1. Введение.

Устройство для перемещения ленточного носителя информации выполнено в виде двухступенчатого ленточного носителя информации содержащее прижимные – 1 и движительные – 2 пьезоэлектрические биморфные пластины, установленные торцами на основании – 3 перпендикулярно друг другу и по разные стороны ленточного носителя – 4 и соединенные с источником периодического напряжения, а также фрикционный элемент – 5 (Рис.1).

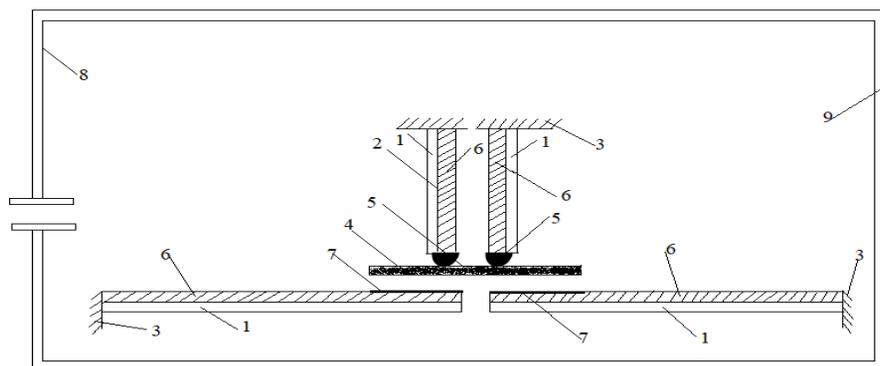


Рис.1. Устройство пьезоэлектрического ленточного привода.

С целью повышения надежности в нем пьезоэлектрические биморфные пластины выполнены из двух слоев, один из которых металлический – 6, а рабочая часть прижимной металлической пластины выполнена на металлическом слое с зеркальной поверхностью – 7. Устройство снабжено ленточными накопителями – 8, 9.

В лентопротяжном механизме - 1, 2, 3, 4 имеется возможность практической реализации сравнительно высоких скоростей линейного перемещения ленточных носителей – 4 в накопителях – 8, 9, $1 \div 1,5$ м/с за счет механической передачи изгибных колебаний пьезоэлектрических биморфных пластин – 1, 6 и 2, 6 в резонансном режиме работы.

Максимальная скорость перемещения рабочего конца которые могут развивать биморфные пьезоэлектрические элементы в режиме механического резонанса при максимальных величинах амплитуды деформации ограничивается величинами допустимых напряженностей электрического поля E и механических динамических напряжений $\sigma_{пр.из}$ (так как $v_{зв}^{\sim}$ опр.из) зависящих от механической прочности материала биморфных элементов при изгибных колебаниях [1, 2, 3].

2. Постановка задачи.

Реализация потенциальных возможностей указанных устройств на практике связана с необходимостью исключения механических повреждений и повышения надежности, которые могут быть обеспечены на основе приближенного вариационного расчета и выбора основных рабочих параметров в частности амплитуды деформации - $\Delta_{из.нод}$ резонансной частоты « $f_{рез}$ » и критической длины l_1 [8].

Для вывода соотношений связывающих в случае изгибных колебаний параметры эквивалентной схемы устройства (рис. 2) с геометрическими

размерами кристалло-физического постоянного пьезоэлемента, воспользуемся методом динамических аналогий.

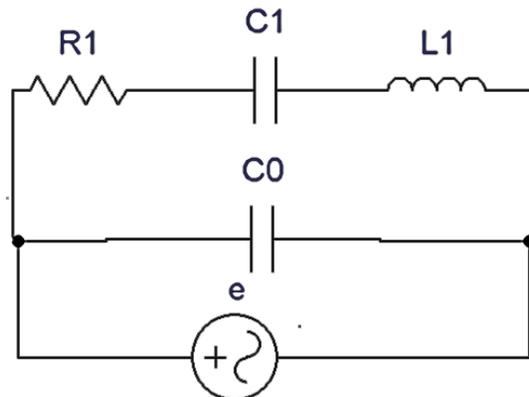


Рис. 2. Составленная эквивалентная схема устройства для вывода соотношений изгибных колебаний

Этот метод основывается на том очевидном факте, что резонансные колебания пьезоэлектрического устройства могут быть описаны как дифференциальным уравнением механической системы [13]:

$$m \frac{d^2 U}{dt^2} + r \frac{dU}{dt} + pU = F, \quad (1)$$

$$L_1 \frac{d^2 q}{dt^2} + R_1 \frac{dq}{dt} + \frac{q}{c_1} = U \quad (2)$$

При пьезоэлектрическом возбуждении механической системы действующая на нее сила пропорциональна приложенному к ней электрическому напряжению, а возникающий заряд пропорционален смещению:

$$\frac{F}{U} = R_{1i} \frac{q}{U} = R_2 \quad (3)$$

Величина R представляет собой уже знакомый нам коэффициент электромеханической связи.

Умножив дифференциальное уравнение для электрической схемы на $R = R_1 = F/U$ и заменив согласно (3) q величиной $R_2 U_1$ преобразуем уравнение (2) к виду:

$$L_1 R^2 \frac{d^2 U}{dt^2} + R_1 r \frac{dU}{dt} + \frac{r^2 U}{C_1} = F \quad (4)$$

Для реализации устройства критическая длина стержня с прямоугольным сечением определяется из дифференциального уравнения изгибных колебаний по формуле (5):

$$E_{ю}j \frac{d^4 \eta}{dx^4} - \rho S \frac{d^2 \eta}{dt^2} = 0 \quad (5)$$

$$\beta l_1 = \frac{I}{l_1} \sqrt{\frac{\rho S}{E_{ю}j}} \omega_p^2 \quad (6)$$

$$l_{кр} = \sqrt{\frac{(\beta l_1)^2 \cdot v_{зв} \cdot \rho S}{\omega_p}} \sqrt{\frac{j}{S}} \quad (7)$$

При работе на частотах соответствующих частотам собственных колебаний в плоскости изгиба для стержня с одним закрепленным концом, резонансная частота таких колебаний определяется по формуле [9]:

$$f_{рез} = \frac{(\beta l_1)^2 l_3}{2\pi \sqrt{12} l_1^2} \left(\frac{E_{ю}}{\rho} \right)^{1/2} \quad (8)$$

где: ρ - плотность материала керамики марки ЦТС-19, она равна $\rho = 5,6 \cdot 10^3$ (кг/м³); $E_{ю}$ - модуль упругости $0,9 \cdot 10^{11}$ (Н/м²); S - площадь поперечного сечения стержня (м²); $V_{зв}$ - скорость распространения звуковых изгибных волн (м/с); βl_1 - определяется графическим решением уравнения (6) при числе узлов $n = 1$ на частоте основного резонанса ($\beta l_1 = 1,875$).

Из теории изгиба упругой деформации прямоугольной пластинчатой пружины закрепленной одним концом, могут быть определены, наибольшее напряжение в опасном сечении, момент инерции, величина амплитуды деформации изгиба по следующим формулам [11]:

$$\sigma_{из.дон} = \frac{3Fl_1}{2l_2 \cdot l_3^2} \quad (9)$$

$$\Delta_{изз} = \frac{F \cdot l_1^2}{3j_{ю}} = \frac{F}{K_{j\Sigma}} \quad (10)$$

$$J = \frac{l_2 l_3^3}{12} \quad (11)$$

Где: F - сила действующая на пластинчатую пружину [Н]; l_1, l_2, l_3 - соответственно длина, ширина, толщина пластинчатой пружины (м); $l_1 = 6 \cdot 10^{-2}$ (м); $l_2 = 6 \cdot 10^{-3}$ (м); $l_3 = 11 \cdot 10^{-4}$ (м); I - момент инерции (м⁴);

$K_{ж\Sigma}$ - суммарная жесткость пластин составляющих стержень с прямоугольным сечением (Н/м).

Прямоугольные пластины образующие биморфный пьезоэлектрический элемент БПЭ достаточно тонки $l_3 = 11 \cdot 10^{-4}$ (м):

$$K_{ж\Sigma} = \frac{E_{ю} \cdot l_2 \cdot l_3^3}{4l_1^3}$$

При этом длина биморфного элемента l_1 много больше толщины т.е. $l_1 \gg 2l_3$, а ширина $l_2 = const$, поэтому можно предположить, что распределение механических напряжений однородно по сечению биморфного пьезоэлектрического элемента, тогда механические колебания должны распространяться вдоль него как плоская волна синусоидальной формы. Так как, электрическое поле E^{\sim} связано с разностью потенциалов U^{\sim} на электродах, которые нанесены на боковую поверхность основных граней пластин составляющих биморфные пьезоэлектрические элементы можно предположить, что возбуждающим механическим напряжением $\sigma_{из.доп.}$ является суммарное переменное напряжение:

$$U_{ex} = \sum_{k=1}^n U_{mk} \sin \omega_k t$$

действующее равномерно по всему биморфному пьезоэлектрическому элементу и обуславливающее те самые колебания, которые возникают под действием приложенного электрического E^{\sim} поля [4, 10, 14]:

$$\sigma_{из.доп.} = \frac{d_{31} E_{ю} Q_{мех} (U_m \sin \omega_p t)}{l_3} \quad (12)$$

где: l_3 - толщина биморфного пьезоэлектрического элемента - $11 \cdot 10^{-4}$ (м); $\sigma_{из.доп.}$ - предел прочности при изгибе биморфного пьезоэлектрического элемента для пьезокерамики ЦТС-19 $28 \cdot 10^6$ (Н/м²); E^{\sim} - электрическая прочность (В/м) для пьезокерамики ЦТС-19 (3 кВ/м); Q_m - механическая добротность определяется экспериментально из амплитудно-частотной характеристики биморфного пьезоэлектрического элемента $\Delta_{из} = \varphi(f_{пез})$ и определяется выражением:

$$Q_{мех} = \frac{\omega_p \cdot M_{экр}}{R_{МП}} \quad (13)$$

$$R_{МП} = \rho \cdot v_{зв} \cdot S$$

где: d_{31} - пьезомодуль изгибных колебаний $8,35 \cdot 10^{-11}$ (м/В); f - частота механического резонанса (Гц); Δ - амплитуда изгибной деформации биморфного элемента (м); $M_{э\text{кв}}$ - эквивалентная масса, $R_{МП}$ - механические потери биморфного элемента [10]

Учитывая, что нагрузка биморфного пьезоэлектрического элемента носит переменный характер в режиме механического резонанса с большим числом циклов и то что допустимое напряжение должно быть ниже предела выносливости материала необходимо выполнение следующего условия [9]:

$$\sigma_{\text{из.дон}} \leq 0,75 \sigma_{\text{пр.изг.}} \quad (14)$$

Уравнения (1)-(14) составлены и представлены на основе теоретических законов принципов построения и работы пьезоэлектрических преобразователей, включительно, также и ленточного типа. Перед компьютерным моделированием и исследованием составленной модели, ставится конкретная задача, которая заключается в следующем:

3. Решение задачи.

Предложенный, для решения поставленной задачи способ моделирования очень часто применяется для исследования пьезоэлектрических преобразователей. Поиск и литературный обзор с последующим сравнением и группировкой выявленных материалов привел к следующим типичным положениям, характеризующих, современное состояние исследований по теме.

В работе [15] исследованы пьезоэлектрические преобразователи, которые применяются в качестве активных гасителей механических колебаний. Модель, на основе которой проводились целеустремленные исследования, является аналитической и составлена для имитации колебательных процессов, возникающих в лопатках авиационных турбомашин и с эффектом активного гашения этих колебаний с помощью пьезоэлектрического демпфера. В статье показано, что пьезоэлектрические демпфера могут сохранить свою работоспособность даже, при высоком исходном уровне вибронапряжений, в условиях малых и средних нагрузочных режимах, при приближении к точке перенагрузки их устойчивость существенно снижается. Несмотря на достаточно эффективные выводы, проведенных исследований, в них отсутствуют какие-либо полученные формулы для определения критических параметров, тех или иных параметров, обуславливаемыми негативными факторами, действующих на устойчивость.

В работе [16] учитывая большую значимость пьезоэлектрических ультразвуковых двигателей при реализации законов управлением движением с повышенной точностью или высокой производительностью, обоснована актуальность исследований их рабочих характеристик. Сперва рассмотрены типичные конструктивные особенности

пьезоэлектрических двигателей модели L1B2 полной архитектуры системы перемещения, состоящая, в основном, из усилителя, контроллера и самого двигателя,

Данная работа имеет несомненно, очень высокую практическую значимость, так как один из основных выводов гласит о высоких требованиях по точности при реализации математических решений. По сути, это означает, что авторы предпочитают более точных технических решений, нежели точных теоретических решений. Но, при этом, авторы не затрагивали такие характеристики как зависимость резонансной частоты от тех или иных параметров элементов и устройств, входящих в состав архитектуры, и не учли изменения технико-эксплуатационных показателей двигателей при их применении в аэрокосмических средах, к которым присущи такие явления как динамические неустойчивые полетные условия, нестационарные условия эксплуатации и тому подобия.

В работе [12] анализированы основные параметры пьезоэлектрических преобразователей, которые существенно влияют на их технико-эксплуатационные свойства. Коэффициент электромеханической связи (k_p , k_{33} , k_{15} , k_t и k_{31}), численно определяемый отношением преобразованной энергии к исходной, с учетом направления преобразования, добротность, которая по сути, является показателем резонансных свойств колебательных систем, численно определяемая отношением резонансной частоты к частотному диапазону, на границах у которого энергия меньше чем в два раза и т.д. При достаточно обширном анализе вышеупомянутых и ряд других значимых параметров пьезоэлектрических преобразователей, в данной работе отсутствуют какие-либо суждения или заключения, которые относились бы к вопросам анализа влияния этих параметров на выбор и определения геометрических размеров, на их критические разрушительные воздействия и т.д.

Один из основных результатов работы [7], в которой проведены исследования резонансных характеристик, опять же, пьезоэлектрических двигателей, заключается в том, что расхождение рабочих значений частоты от резонансного оказались в пределах 1,5 кГц, для одной, 5кГц – для другой группы исследуемых двигателей. По мнению авторов, эти расхождения являются вполне допустимыми для исследуемых пьезоэлектрических двигателей и поэтому вполне годятся для их серийного производства и применения в микроманипуляторах, но при этом не рассматриваются негативные воздействия и их последствия внешней среды, в которой они эксплуатируются.

Более расширенное исследование описывается в работе [5]. В работе пьезоэлектрический преобразователь рассматривается в качестве источника первичной информации. Как объект исследований, преобразователь является электрической эквивалентной схемой замещения датчика параметров механического перемещения (точнее, угла поворота). Датчик имеет мостовую

схему соединения, в которой пьезоэлектрические элементы, выполняют функцию чувствительных элементов датчика и имеют между собой дифференциальное соединение. Получена передаточная функция датчика-преобразователя, расширен частотный интервал с стабильной динамической чувствительностью. С применением активных фильтров второго порядка обеспечена относительная стабильность вокруг резонансной частоты. Найдены математические уравнения, определяющие зависимости коэффициентов характеристического уравнения передаточной функции датчика-преобразователя от геометрических размеров пьезоэлектрических чувствительных элементов дисковой формы. Выполнены расчеты, результаты которых позволяют получать переходный процесс настроенный на технический оптимум. Подчеркивая еще раз значимость результатов проведенных исследований, необходимо заметить и то, что компьютерная модель найденные уравнения, выполненные симуляции и все другое, представленные в данной работе основывается на эквивалентной схеме замещения датчика-преобразователя угла поворота с дифференциально-соединенными четырьмя пьезоэлектрическими преобразователями. Таким образом обобщенность к применению полученных результатов ограничены по причинам, обусловленных вышеуказанными факторами.

Современные исследования проводятся в обязательном порядке с применением компьютерных средств, программных обеспечений специального назначения, информационных технологий и тому подобных. В статье [6], которая является одной из последних работ настоящего автора, обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, применение компьютерного моделирования для решения поставленных задач. Далее, с целью решения поставленных задач применив математические методы измерительной техники и теории пьезоэлектричества, составлена математическая модель преобразователя и исследована влияние механических воздействий на его устойчивость. На основе результатов компьютерной симуляции составленной модели, выявлено, что при рассмотрении измерительного процесса в виде реализуемой функций «вход-выход», статическая чувствительность является постоянной величиной. Но составленная статическая модель пьезоэлектрического преобразователя не позволила подробно анализировать влияние изменения геометрических параметров на статическую устойчивость, так как симуляция разработанной модели показала, что изменения статической чувствительности получились очень незначительными.

Таким образом, продолжительные исследования по направлению улучшению технико-эксплуатационных показателей и по направлению расширения областей применения, в данной работе анализируются пьезоэлектрический исполнительный механизм на основе биморфного пьезоэлектрического элемента. Как было указано выше, исходными уравнениями являются (4)-(14) и основными решаемые вопросы связаны с

определением тех значений частот, которые имеет разрушительные действие на пьезоэлектрический преобразователь. Математическом смысле это означает что необходимо определить функциональную зависимость между конструктивными показателями и рабочих частот.

Предполагая, что биморфный пьезоэлектрический элемент работает на максимально допустимых значениях амплитуды колебаний $\Delta_{\max \text{ доп.}}$ на частоте механического резонанса $f_{\text{рез}}$ при условии $\sigma_{\text{из.доп.}}$ (14), решая уравнение (9) учетом выражений (11) и (12) получим соотношения для определения максимальной силы F_{\max} и наибольшей допустимой деформации $\Delta_{\text{изг}}$ изгиба биморфного пьезоэлектрического элемента:

$$F_{\max} = \frac{4Ed_{31}Q_M E_{ю} l_2 l_3}{3l_3} = \left[\frac{4d_{31}Q_M E_{ю} l_2 l_3^2}{3l_1} (U_m \sin \omega_p t) \right] \quad (15)$$

$$\Delta_{\max} = \frac{F_{\max} \cdot l_1^3}{3E_{ю} \cdot j} = \frac{F}{K_{жс\Sigma}} = \left[\frac{24d_{31}Q_M \cdot l_1^2}{9l_3^2} (U_m \sin \omega_p t) \right] \quad (16)$$

Указанные допущения позволяют с достаточной степенью точности получить простые аналитические выражения для определения резонансной частоты f_p и критической длины l_{2kp} биморфных пьезоэлектрических пластин, полученные выражения справедливы для определения параметров на частоте вблизи механического резонанса при котором нелинейные свойства биморфных пьезоэлектрических пластин проявляются незначительно.

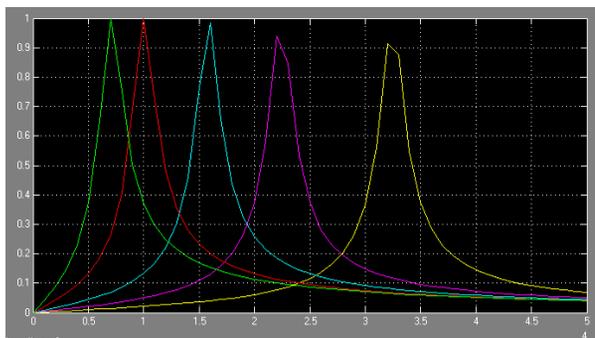


Рис.3. Характеристики механического резонанса, полученные от симуляции компьютерной модели. (рис. 4, MATLAB Simulink 6.5)

Для получения характеристик механического резонанса представленной на рис.3, построена компьютерная модель, которая представлена на рис.4..

При подключенных биморфных элементах к генератору синусоидальной частоты переменного тока и изменении частоты f_{pez} пьезоэлектрические биморфные элементы совершают изгибные механические колебания $\Delta_{u_{32}}$ фиксируемые с помощью микроскопа. При изменении частоты, при кратности частот вспышек лампы стробоскопа и колебаний пьезоэлементов, сопровождается кажущимся замедлением колебаний пьезоэлементов фиксируются стробоскопом и микроскопом. Из кривой резонансной частоты механических колебаний определяются параметры механической добротности Q_M - лентопротяжного носителя информации.

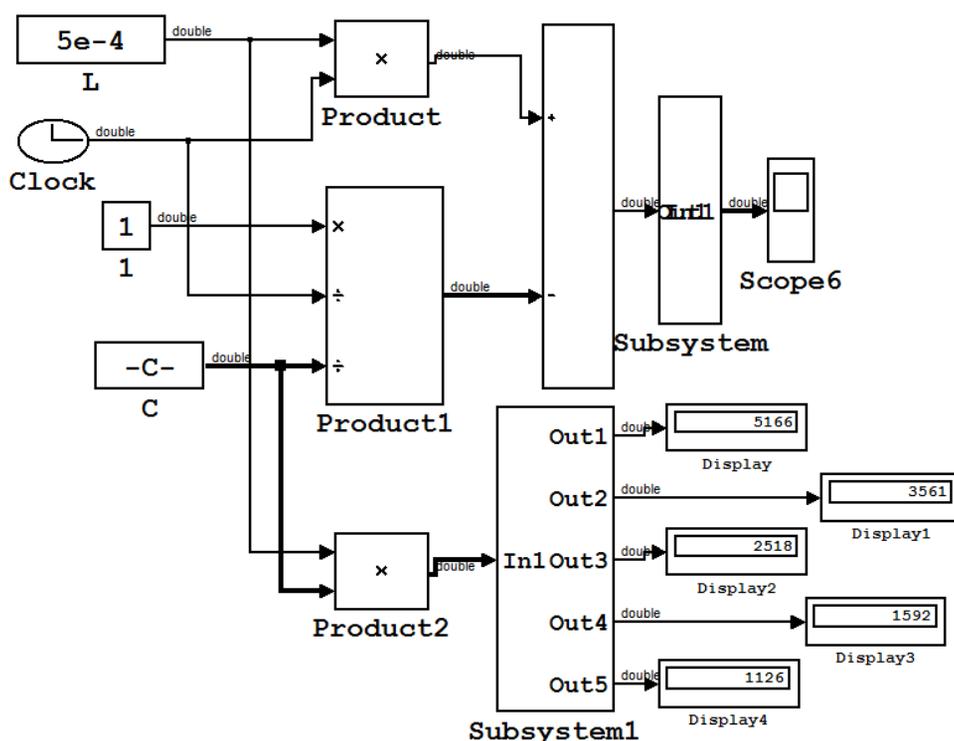


Рис.4. Компьютерная модель для получения (MATLAB Simulink 6.5)

Подставляя вместо l_1 ее значение из формулы (8) в выражение (16). А вместо f_p ее значение из формулы (17) в выражение (7) получим:

$$f_p = \frac{(\beta l_1)^2 \cdot l_3}{2\pi\sqrt{12l_1^2}} \left(\frac{E_{ю}}{P} \right)^{1/2} = \left[\frac{(\beta l_1)^2 24v_3b \cdot d_{31}Q_M}{18\pi\sqrt{12\Delta max_{don} \cdot l_3}} (U_m \sin \omega_p t) \right] \quad (17)$$

$$l_{1kp} = \sqrt{\frac{(\beta l_1)^2 v_{3b}}{\omega_p}} \sqrt{\frac{j}{S}} = \sqrt{\frac{3\Delta_{\max \partial on} \cdot l_3 \sqrt{12}}{24d_{31} Q_m (U_m \sin \omega_p t)}} \sqrt{\frac{j}{S}} \quad (18)$$

На рис. 5 приведена неравномерная синусоида, полученная от симуляции компьютерной модели, которая представлена на рис. 6. Эта модель построена на основе полученного решения для критического значения геометрического параметра (18).

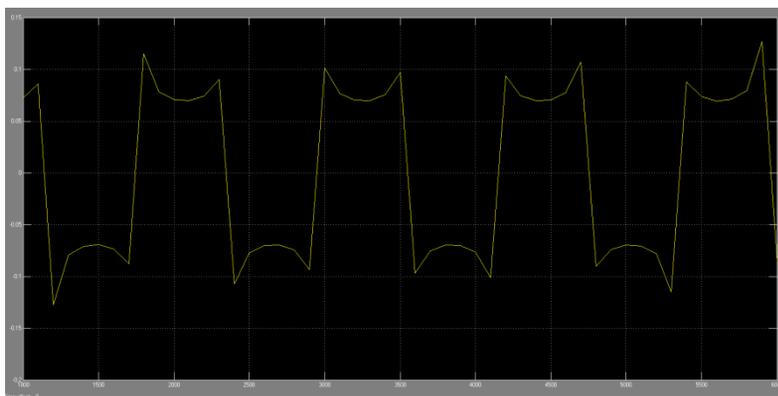


Рис. 5. Характеристика изменения критического значения длины биморфного элемента пьезоэлектрического ленточного привода. (MATLAB Simulink 6.5)

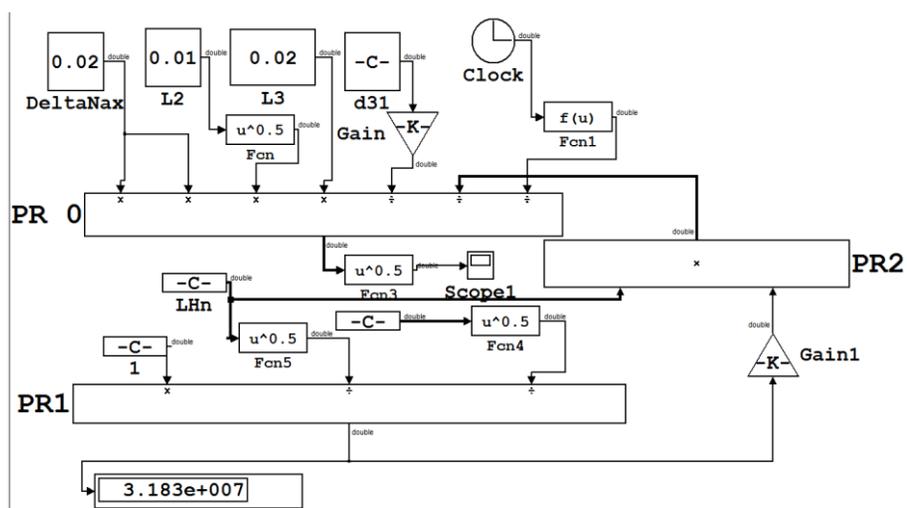


Рис. 6. Компьютерная модель для получения характеристик критической длины, представленной на рис.5. (уравнение (18), MATLAB Simulink 6.5)

На графике частота резонанса - f_p при различных уровнях $U_{БПЭ}^{\sim}$ - возбуждения. Приведенные данные подтверждают, что ток нагрузки I_n биморфного пьезоэлектрического элемента на частоте механического резонанса $f_{рез} = 247$ Гц с использованием стробоскопа и микроскопа и амплитуде деформации при уровне возбуждения $U_{БПЭ} = 210$ (В) не превышает допустимые значения тока $I = 6$ мА/см² при изгибных колебаниях биморфных пьезоэлектрических элементов.

Ниже приводятся результаты расчетного определения параметров биморфных пьезоэлектрических элементов в вышеописанной последовательности.

Согласно, формулам (12), (14), (15) и (16) подставляя численные значения параметров биморфных пьезоэлектрических элементов определяем:

$$\sigma_{из.дон.} = 3,4 \cdot 10^6 \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

По формуле (16) определена максимальная допустимая амплитуда механических колебаний:

$$\Delta_{\max \text{ дон}} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

По формулам (17) и (18) определяем соответственно, $f_{рез}$ - биморфных элементов и $l_{1кр} = 59 \cdot 10^{-2} = 59$ (мм)

4. Заключение.

Как следует из вышеприведенного упрощенного метода расчета по определению критической длины БПЭ и учитывая его приближенный характер, а также погрешности экспериментальных исследований с применением предложенного метода, совпадение теоретических и экспериментальных результатов можно считать удовлетворительным расхождение между которыми составляет $19 \div 21$ %.

Необходимо также отметить, что выполнение устройства для перемещения ленточного носителя информации в виде двухступенчатого, содержащее прижимные и движительные биморфные пьезоэлектрические элементы повышают тяговые усилия перемещения ленточного носителя в режиме резонанса механических колебаний.

Литература

1. Авторское Свидетельство. (СССР) №866574 от 23.09 Бюллетене Информационное, №35, (1981).

2. Авторское Свидетельство (СССР) №949708 от 07.08. Бюллетене Информационное, №37, (1982).
3. Авторское Свидетельство (СССР) №1205187 от 15.01. Бюллетене Информационное, №2, (1986).
4. Глозман И. «Пьезокерамика», М. (1972).
5. Давришова И.Н., Неймаьль В.А. Нормализация динамических характеристик пьезоэлектрического датчика угла поворота. Вестник Национальной Научной Академии АР Научная серия «Математика и Физика-Технология. Проблемы информатики и Управления». (in Azerbaijan), V.36, N.6, (2016), pp.97- 103.
6. Давришова И.Н. Разработка математической модели дифференциального пьезоэлектрического преобразователя и ее компьютерная симуляция, Proceedings of IAM, V.10, N.2, (2021), pp.123-134.
7. Исследования резонансные характеристик осциллятора пьезоэлектрических двигателей // Приборостроение-2018 : материалы 11-й Международной научно-технической конференции, 14-16 ноября 2018 года, Минск, Республика Беларусь / ред. кол.: Гусе О. К. (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 145-147. <https://rep.bntu.by/handle/data/51993>
8. Лавриненко В.В., Карташев Н.А. «Пьезоэлектрические двигатели» М.(1980).
9. Магнитные и диэлектрические приборы под редакцией Котца Г.В., перевод с англ. Матвеева В.В. и Позднякова В.И., часть 1. М. (1964).
10. Научно-технический отчет АзТУ «Разработка пьезоэлектрического двигателя для перемещения изделий электроники в вакууме» 35-80/314 УДК Б21313 Государственная регистрация 018 (2007) 3814, инвентарный 0283. 0030667.
11. Понамарев С.Д. и др. «расчет на прочность в машиностроении» «МАШГИЗ», (1959 г).
12. Пьезоэлемент. Пьезоэлектрический эффект. Свойства пьезокерамики <https://web.archive.org/web/20140227194920/http://engineering-solutions.ru/ultrasound/piezomaterials/>
13. Смагин А.Г., Ярославский М.И. «Пьезоэлектричество Кварца и Кварцевые Резонаторы». «Энергия», Москва (1970).
14. Смажевская В.Г., Фелдман Н.В. «Пьезоэлектрическая Керамика» М. (1971).
15. Характеристики и применение ультразвуковых двигателей L1B2 Gal Peled, Roman Yasinov и Nir Karasikov, Nanomotion Ltd., Israel. Научный редактор: Kenji Uchino.
16. Шорр Б.Ф., Бортников А.Д. Применение пьезоэлементов для активного гашения резонансных колебаний лопаток турбомашин, Авиационные двигатели, V.4, N.9, (2020), <https://ciam.ru/upload/iblock/237/primenenie-pezelementov-dlya-aktivnogo-gasheniya-rezonansnyh-kolebanij-lopatok-turbomashin.pdf>

MODELING OF A PIEZOELECTRIC TWO-STAGE BELT DRIVE AND INVESTIGATION OF RESONANT MODES OF MECHANICAL VIBRATIONS

I.N. Davrishova

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
e-mail: irada.davrishova@gmail.com

Abstract. The article provides an expression for determining the critical values of the length of a bimorphic element for a piezoelectric belt drive used in microtechnology, the design feature of the considered displacement is that it has a two-stage tape arrangement in which the clamping and propelling piezoelectric bimorphic plates are mounted end-to-end on a base perpendicular to each other and on opposite sides of the tape mechanism. Resonant characteristics and an inhomogeneous sinusoidal curve for critical length values of bimorphic piezoelectric plates are obtained.

Keywords: Ribbon piezoelectric actuator, bimorphic piezoelectric plates, computer models, mechanical resonance characteristics, characteristics for critical values of the plate length.

References

1. Avtorskoe Svidetel'stvo. (SSSR) №866574 ot 23.09 B'ulletene Informacionnoe, №35, (1981) (A.S. (SSSR) №866574 ot 23.09.(1981) B.I. №35 (2Copyright Certificate. (USSR) No.866574 dated 23.09. (1981) Bulletin Informational . №35)
2. Avtorskoe Svidetel'stvo (SSSR) №949708 ot 07.08. B'ulletene Informacionnoe, №37, (1982) (A.S. (SSSR) №949708 ot 07.08.(1982) B.I. №37 *(Copyright Certificate (USSR) No. 949708 dated 07.08. (1982) Information Bulletin. №37)
3. Avtorskoe Svidetel'stvo (SSSR) №1205187 ot 15.01. B'ulletene Informacionnoe, №2, (1986) (A.S. (SSSR) №1205187 ot 15.01.(1986) B.I. №2 (Copyright Certificate (USSR) No. 1205187 dated 15.01. (1986) Information Bulletin No. 2)
4. Glozman I. «P'ezokeramika», M. (1972) (I.Glozman "Piezoceramics", M. (1972).)
5. Davrishova I.N., Nejma'lv V.A. Normalizacija dinamičeskikh harakteristik p'ezoelektričeskogo datchika ugla povorota. Vestnik Nacional'noj Nauchnoj Akademii AR Nauchnaja serija «Matematika i Fizika-Tehnologija. Problemy informatiki i Upravljenja». (in Azerbaijan)), V.36, N.6, (2016), pp.97- 103 (Davrišova I.N., Neymatov V.A. Normalization of dynamic characteristics of piezoelectric rotation angle sensor. Bulletin of the NANA Scientific series "Mathematics and Physics-technology. Problems of computer science and management". (in Azerbaijani) Volume 36, No. 6. Baku (2016), pp. 97-103)

6. Davrishova I.N. Razrabotka matematicheskoy modeli differencial'nogo p'ezojelektricheskogo preobrazovatelja i ee komp'juternaja simuljacija, Proceedings of IAM, V.10, N.2, (2021), pp.123-134 (Davrishova I.N. Development of a mathematical differential piezoelectric transducer and its computer simulation. Proceedings of IAM, V.10, N.2, (2021), pp.123-134)
7. Issledovaniya rezonansnye harakteristik oscilljatora p'ezojelektricheskikh dvigatelej // Priborostroenie-2018 : materialy 11-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, 14-16 nojabrja 2018 goda, Minsk, Respublika Belarus' / red. kol.: Guse O. K. (predsedatel') [i dr.]. – Minsk : BNTU, 2018. – S. 145-147 (Studies of resonant characteristics of the oscillator of piezoelectric motors // Instrumentation-2018 : proceedings of the 11th International Scientific and Technical Conference, November 14-16, (2018), Minsk, Republic of Belarus / editorial board: O. K. Gusev (Chairman) [et al.]. – Minsk : BNTU, (2018)- Pp. 145-147. <https://rep.bntu.by/handle/data/51993>
8. Lavrinenko V.V., Kartashev N.A. «P'ezojelektricheskie dvigateli» M.(1980). (Lavrinenko V.V., Kartashev N.A. "Piezoelectric motors" M.(1980).)
9. Magnitnye i dijelektricheskie pribory pod redakciej Kotca G.V., perevod s angl. Matveeva V.V. i Pozdnjakova V.I., chast' 1. M. (1964).("Magnetic and dielectric devices" edited by G.V. Kotz, translated from English. Matveeva V.V. and Pozdnyakova V.I., part 1. M. (1964))
10. Nauchno-tehnicheskij otchet AzTU «Razrabotka p'ezojelektricheskogo dvigatelja dlja peremeshhenija izdelij jelektroniki v vakuume» 35-80/314 UDK B21313 Gosudarstvennaja registracija 018 (2007) 3814, invertarnyj 0283. 0030667 (Scientific and technical report of AzTU "Development of a piezoelectric motor for moving electronic products in vacuum" 35-80/314 UDC B21313 State registration 018(2007) 3814, invert 0283. 0030667)
11. Ponamarev S.D. i dr. «raschet na prochnost' v mashinostroenii» «MASHGIZ», (1959 g). (Ponamarev S.D. et al. "calculation of strength in mechanical engineering" "MASHGIZ", (1959).).
12. P'ezojelement. P'ezojelektricheskij jeffekt. Svoystva p'ezokeramiki (Piezoelectric element. Piezoelement. Piezoelectric effect. Properties of piezoceramics) <https://web.archive.org/web/20140227194920/http://engineering-solutions.ru/ultrasound/piezomaterials/>
13. Smagin A.G., Jaroslavskij M.I. «P'ezojelektrichestvo Kvarca i Kvarcevyje Rezonatory». «Jenergija», Moskva (1970).(Smagin A.G., Yaroslavsky M.I. "Piezoelectricity of quartz and quartz resonators". Energia, Moscow (1970))
14. Smazhevskaja V.G., Feldman N.V. «P'ezojelektricheskaja Keramika» M. (1971).. (.Smazhevskaya V.G, Feldman N.V. "Piezoelectric ceramics" M. (1971).)
15. Harakteristiki i primenenie ul'trazvukovyh dvigatelej L1B2 Gal Peled, Roman Yasinov i Nir Karasikov, Nanomotion Ltd., Israel. Nauchnyj redaktor: Kenji Uchino (Characteristics and applications of L1B2 ultrasonic motors Gal Peled, Roman Yasinov and Nir Karasikov, Nanomotion Ltd., Israel. Scientific Editor: Kenji Uchino).

<https://www.researchgate.net/publication/303743126> Performance and Applications of L1B2 Ultrasonic Motors

16. Shorr B.F., Bortnikov A.D. Primenenie p'ezoelementov dlja aktivnogo gasheniya rezonansnyh kolebanij lopatok turbomashin, Aviacionnye dvigateli, V.4, N.9, (2020 (Shorr B.F., Bortnikov A.D. The use of piezoelectric elements for active damping of resonant vibrations of turbine blades. Aircraft engines L 4 (9) L 2020) <https://ciam.ru/upload/iblock/237/primenenie-pezoelementov-dlya-aktivnogo-gasheniya-rezonansnyh-kolebanij-lopatok-turbomashin.pdf>