

Научно-технический центр магнетизма технических объектов
Национальной академии наук Украины
Национальный технический университет «ХПИ»
Украинская инженерно – педагогическая академия

МОДЕЛЬ ПЬЕЗОДВИГАТЕЛЯ КАК ОБЪЕКТА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. Применение пьезодвигателей в качестве точного канала многоканальных систем позволяет получать динамические характеристики многоканальных систем, недостижимых в одноканальных системах. В таких системах удастся получать переходные процессы длительностью менее 0,1 мс, обрабатывать задающие и компенсировать возмущающие воздействия в диапазоне частот свыше 1 кГц. При этом точности линейного позиционирования составляют 0,1 мкм, а точности углового позиционирования составляют сотые доли угловых секунд.

Исполнительные двигатели, изготовленные из пьезоэлектрических и магнитоэлектрических материалов, изменяют свои геометрические размеры под действием электрических и магнитных полей. Так как пьезодвигатели могут изменять свои размеры в ограниченном диапазоне перемещений, то их использование возможно лишь в качестве точных каналов многоканальных систем.

Пьезодвигатели как объект управления являются сильно колебательной системой с достаточно малым декрементом затухания $\xi = 0,05 \div 0,005$, так что время установления переходных процессов составляет около 0,1–0,4 с. В качестве примера на рис.1 показана экспериментальная переходная характеристика пьезодвигателя. При высокой частоте собственных механических колебаний пьезодвигателя $\omega = 3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, его амплитудно-частотная характеристика на резонансной частоте имеет ярко выраженный выброс. В качестве примера на рис. 2 показана экспериментальная логарифмическая частотная характеристика пьезодвигателя, откуда видно, что на резонансной частоте выброс амплитудно-частотной характеристики составляет 30 дБ. Поэтому, для получения предельных точностных характеристик системы управления в математической модели пьезодвигателя необходимо учитывать его динамические характеристики как системы с распределенными параметрами, обладающей ярко выраженными резонансными характеристиками. Кроме того, пьезоэлектрические и пьезомагнитные двигатели являются нелинейными элементами, для которых, в первую очередь, присущи явления гистерезиса и нелинейности типа насыщение.

Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме. Вопросам проектирования двухканальных систем с пьезокомпенсаторами посвящено достаточно большое количество работ, однако универсальной математической модели пьезодвигателя до настоящего времени не существует. В работах [1-2] рассмотрены вопросы синтеза многоканальных систем робастного управления.

Цель работы. Целью данной работы является построение математической модели пьезодвигателя с учетом распределенных параметров как объекта робастного управления двухканальной системы.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов.

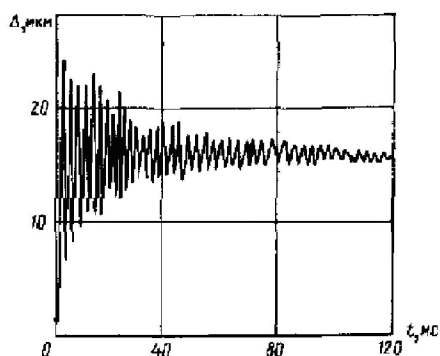


Рис. 1. Экспериментальная переходная характеристика пьезодвигателя

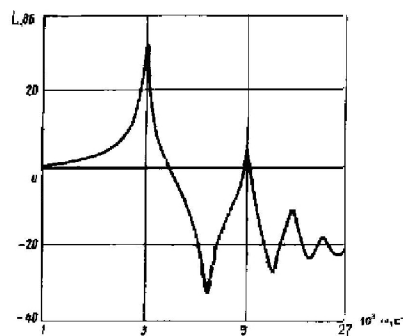


Рис. 2. Экспериментальная логарифмическая частотная характеристика пьезодвигателя

Рассмотрим математическую модель пьезодвигателя в виде стержня длиной l поперечного сечения S_0 , массой m_k . Один конец стержня жестко закреплен на неподвижном основании, а к другому концу прикреплен инерционная нагрузка массой m_0 . Предполагается, что стержень обладает коэффициентом упругости K_{y0} . Тогда волновое уравнение свободных продольных колебаний однородного стержня с учетом потерь внутреннего

вязкого трения в форме Стокса примет следующий вид:

$$\frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} - k \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial^2 \Delta}{\partial X^2} \right) - C_{зв}^2 \frac{\partial^2 \Delta}{\partial X^2} = 0,$$

где X - координата, направленная вдоль оси стержня, отсчитываемая от места его заделки, м;
 $C_{зв} = 1 \sqrt{K_y / m_k} = \sqrt{Y / \rho_m}$ - скорость звука в стержне, м/с; k - кинематическая вязкость материала двигателя, м²/с.

Такая модель может быть также использована и при описании пьезодвигателя, состоящего из большого числа активных элементов – шайб, соединенных последовательно для реализации заданного перемещения. В общем виде передаточные функции пьезодвигателя и магнестрикционного двигателя могут быть приведены к следующему виду:

$$W_{\Delta, c_{II}}(p) = \frac{K}{1 + T_M(\alpha\beta + 1/Q)p + T_M^2(1 + \beta/Q)p^2 + \beta T_M^3 p^3},$$

где $\beta = T_J / T_M$ - отношение электромагнитной и электростатической постоянной времени к механической; K - эквивалентный коэффициент передачи двигателя. Для пьезоэлектрического двигателя $K = K_0 / K_y$, для пьезомагнитного $K = K_0 / (K_y R_B)$, м/В; Q - механическая добротность двигателя; $\alpha = 1 / (1 - K_{ЭМ}^2)$ - для пьезоэлектрического и $\alpha = 1 / (1 - K_{ММ}^2)$ - для пьезомагнитного двигателя. Особенностью пьезодвигателя, а также магнестрикционного двигателя как объекта управления является значительный резонансный пик на частоте собственных недемпфированных механических колебаний, соответствующих частоте $\omega_p = 1 / T_M$ разработанной модели.

Результаты моделирования. В качестве примера на рис.3 показаны Переходные процессы в модели пьезодвигателя для различных значений β : 1 - $\beta=1$; 2 - $\beta=0,1$; 3 - $\beta=5,0$; 4 - $\beta=100$. Полученная математическая модель активного упругого компенсатора как объекта управления многоканальной системы похожа на математическую модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения, входом которого является напряжение на якорной цепи, а выходом является линейное либо угловое перемещение. Однако, в отличие от математической модели двигателя постоянного тока независимого возбуждения, в математической модели активного упругого компенсатора, кроме жесткой обратной связи по скорости вращения имеется жесткая и гибкая обратные связи по перемещению. Фактически данная модель соответствует двухмассовой электромеханической системе с учетом особенностей пьезодвигателя как объекта управления с распределенными параметрами.

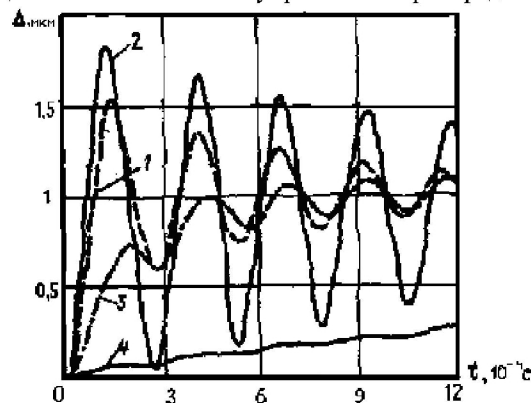


Рис. 3. Переходные процессы в модели пьезодвигателя для различных значений β :

1 - $\beta=1$; 2 - $\beta=0,1$; 3 - $\beta=5,0$; 4 - $\beta=100$

Выводы из приведенного исследования, перспективы этого направления. Таким образом, в данной работе разработана математическая модель активного упругого компенсатора как объекта управления двухканальной системы. Получены основные уравнения динамики активного упругого компенсатора как объекта управления с распределенными параметрами.

Литература.

1. Никитина Т.Б. Синтез нелинейных многоканальных систем повышенной точности/Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Кременчуг.- 2005. №4/2005 (33). С. 39 – 42.
2. Никитина Т.Б. Робастное управление многоканальными итерационными электроприводами по H^2 и H^∞ критериям. Електромашинобудування та електрообладнання. Міжвідомчий науково – технічний збірник. Одеса - 2006. Випуск №67. С. 13 – 17.