

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

Кафедра

Систем Управления и Информатики

Группа Р3340

Лабораторная работа №11
“Исследование математической модели
пьезоэлектрического исполнительного устройства”
Вариант - 10

Выполнила Ким А. А. (подпись)
(фамилия, и.о.)

Проверил _____ (подпись)
(фамилия, и.о.)

"__" _____ 20__г. Санкт-Петербург, 20__г.

Работа выполнена с оценкой _____

Дата защиты "__" _____ 20__г.

Цель работы: Изучение математических моделей и исследование характеристик исполнительного устройства, построенного на основе пьезоэлектрического двигателя микроперемещений.

Исходные данные. Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

C_P Н/м	м кг	K_O Н/В	K_d Нс/м	T_u мс	F_B Н	U_{Pm} В	U_m В
$4,2 \cdot 10^6$	0,25	10	$0,75 \cdot 10^2$	0,15	3	300	10

$$K_u = U_{Pm}/U_m = 300/10 = 30$$

Коэффициенты передачи K_u^{-1}, K_F, K_V, K_X определяются так, чтобы обеспечить соответствие максимального значения измеряемого сигнала уровню 10 В на выходе измерительного устройства.

$$K_u^{-1} = 0,0333$$

$$K_F = 0,005$$

$$K_V = 4,2$$

$$K_X = 14000$$

1 Математическое моделирование модели пьезоэлектрического исполнительного устройства

На основе структурной схемы, представленной на рисунке 1, составим схему моделирования ПД (рисунок 2).

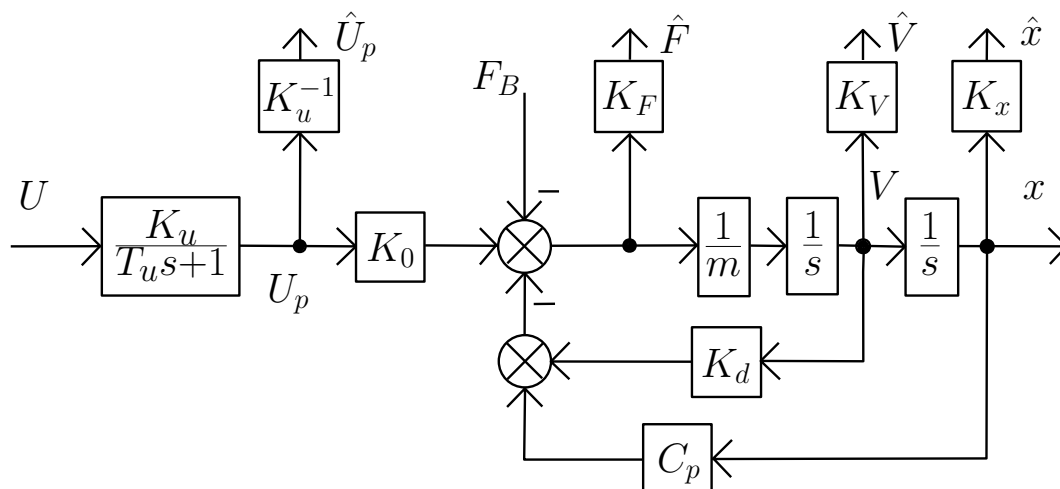


Рисунок 1 – Структурная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства

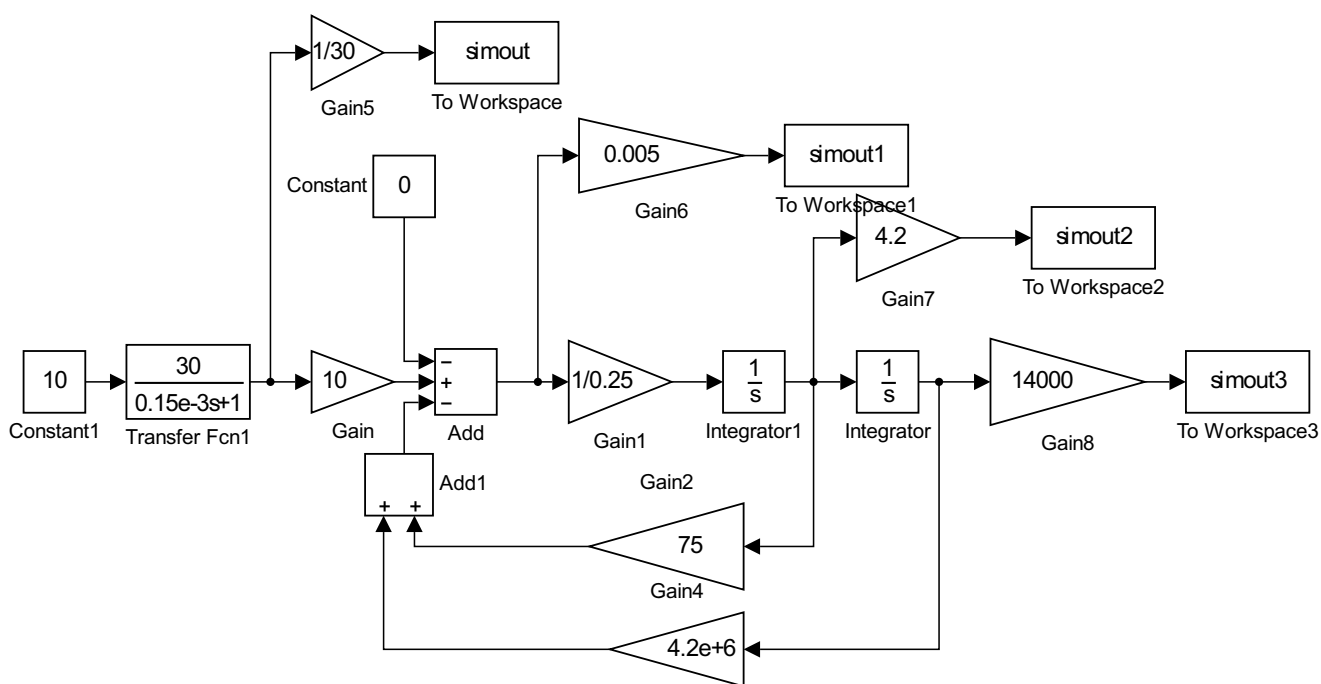


Рисунок 2 – Схема моделирования ПД

Построим графики переходных процессов при $F_B = 0\text{H}$ и $U=10\text{В}$ (рисунок 3):

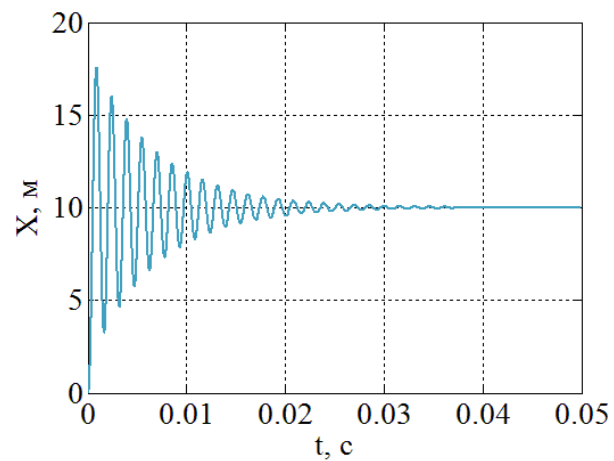
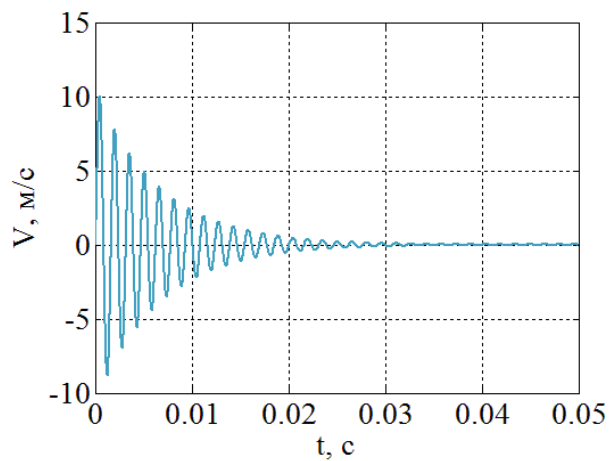
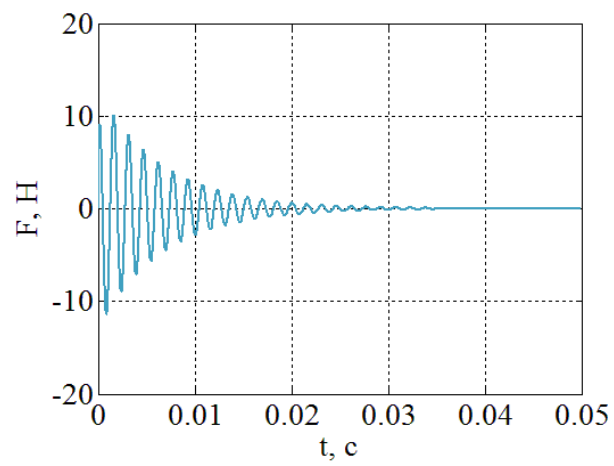
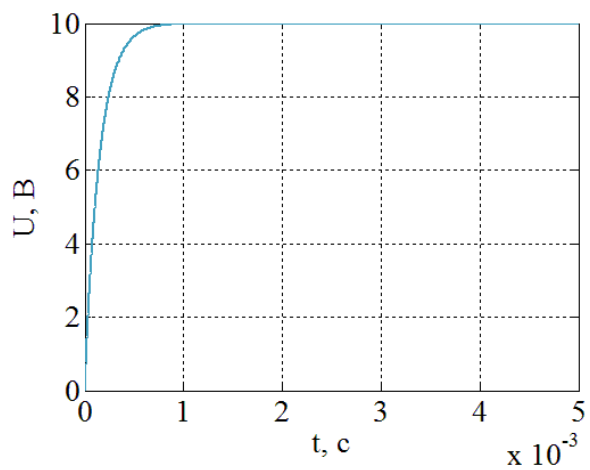


Рисунок 3 – Графики переходных процессов при $F_B = 0$ Н и $U=10$ В

2 Исследование влияния массы нагрузки m на вид переходных процессов

Диапазон изменения массы нагрузки m : $\pm 50\%$ от заданного значения. Графики переходных процессов представлены на рисунке 4.

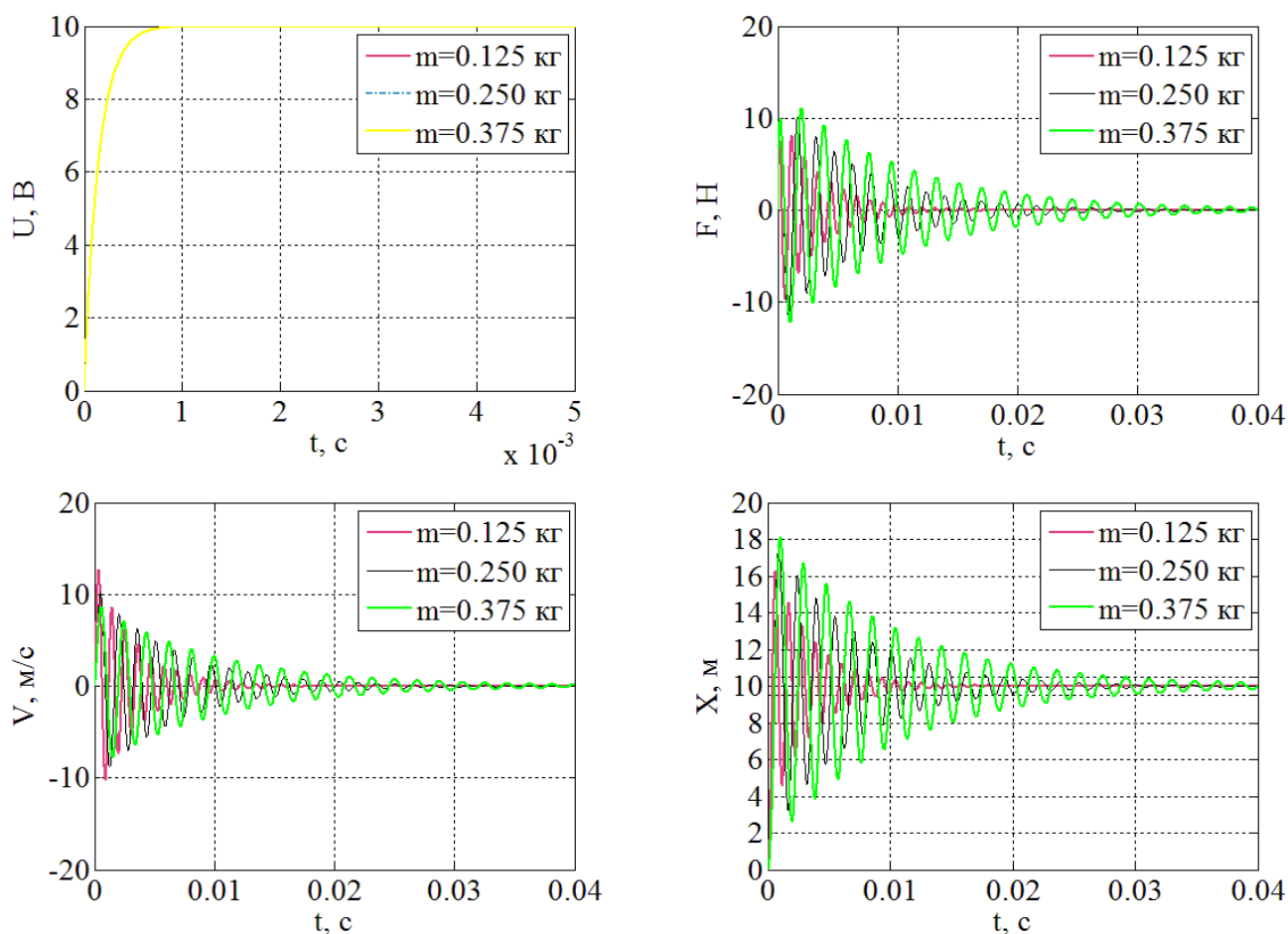


Рисунок 4 – Графики переходных процессов при различных значениях m

По временным диаграммам определим время переходного процесса $t_{\text{п}}$, величину перерегулирования σ и установившееся значение X_y . Занесём результаты в таблицу 2.

Таблица 2 – Характеристики системы при меняющейся массе нагрузки

m , кг	$t_{\text{п}}$, мс	σ , %	X_y
0,125	0.010	61,8	10
0,250	0.019	75	10
0,375	0.030	62	10

3 Исследование влияния T_u на вид переходных процессов

Изменение T_u в сторону увеличивая исходного значения постоянной времени в 2, 4 и 6 раз. Графики переходных процессов представлены на рисунке 5.

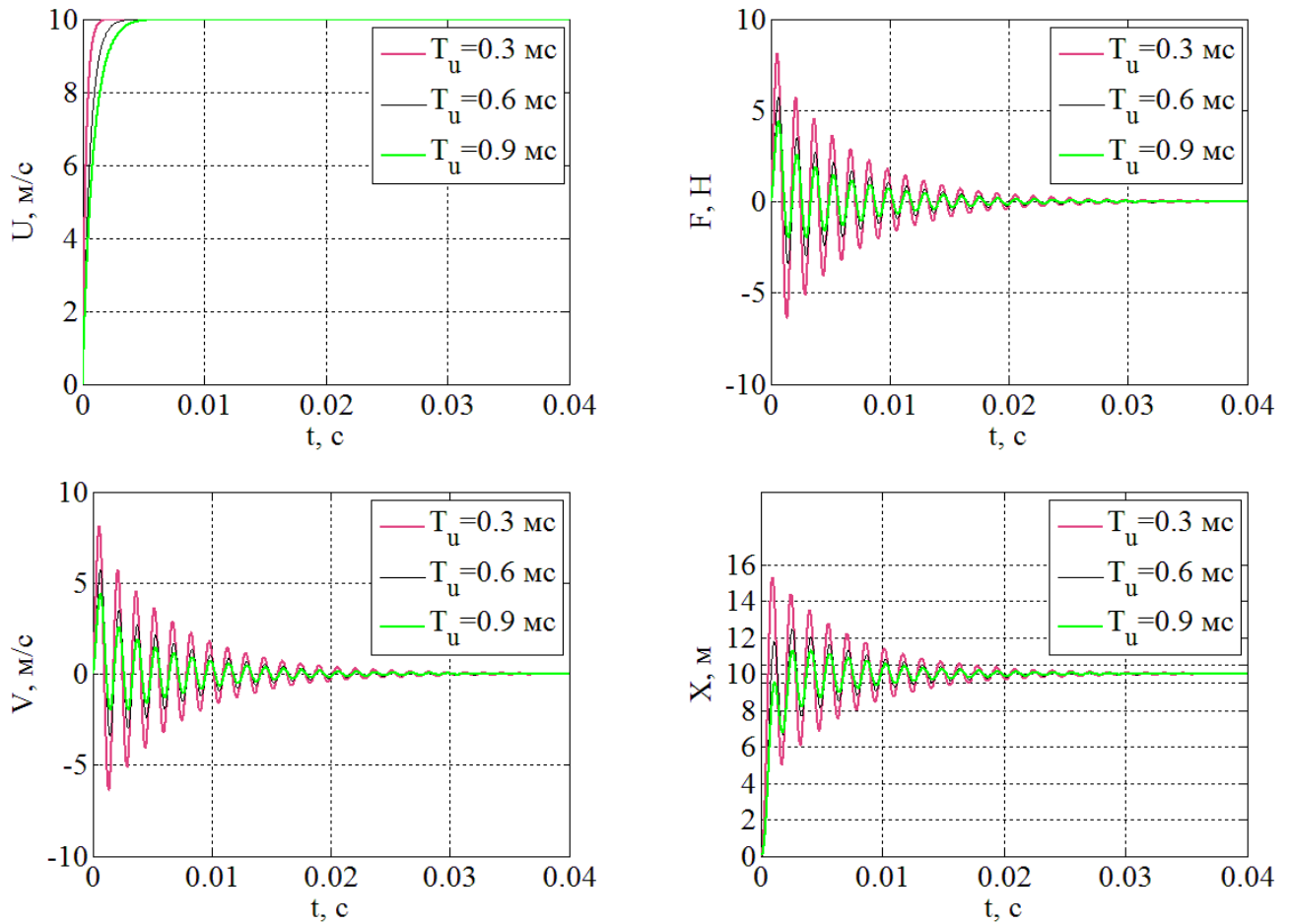


Рисунок 5 – Графики переходных процессов при различных значениях T_u

По результатам моделирования определим время переходных процессов t_{Π} , величину перерегулирования σ и установившееся значение X_y . Занесём результаты в таблицу 3.

Таблица 3 – Характеристики системы при меняющейся постоянной времени

T_u , с	t_{Π} , мс	σ , %	X_y	s_1	s_2	s_3
0,3	0,016	55	10	-3333,33	-150-i4096,03	-150+i4096,03
0,6	0,013	25	10	-1666,67	-150-i4096,03	-150+i4096,03
0,9	0,012	10	10	-1111,11	-1500-i4096,03	-150+i4096,03

Чтобы рассчитать значения корней характеристического уравнения получим передаточную функцию. Для этого будем рассматривать исполнительное пьезоэлектрическое устройство как упругую механическую систему. В этом случае математическая модель может быть получена на основе уравнения баланса сил в пьезодвигателе:

$$F_y = F_O + F_D + F_d + F_B, \quad (1)$$

где $F_y = C_p x$ — усилие упругой деформации ПД, $F_O = K_O U_p$ — усилие, вызванное обратным пьезоэффектом, $F_D = -m \frac{d^2 x}{dt^2}$ — динамическое усилие в ПД, $F_d = -K_d \frac{dx}{dt}$ — демпфирующее

усилие, обусловленное механическими потерями, F_B — внешнее воздействие, x — перемещение, C_p — коэффициент упругости, K_O — коэффициент обратного пьезоэффекта, U_p — напряжение на электродах ПД, m — масса перемещаемой нагрузки, K_d — коэффициент демпфирования.

Подставив перечисленные равенства в уравнение (1), получим:

$$m\ddot{x} + K_d\dot{x} + C_px = K_OU_p + F_B \quad (2)$$

Составленная по уравнению (2) передаточная функция будет выглядеть следующим образом:

$$W_{\text{ВУ}}(s) = \frac{K_OU_p + F_B}{ms^2 + K_ds + C_p} \quad (3)$$

Управление ПД осуществляется от высоковольтного усилителя, который, в нашем случае, описывается апериодическим звеном первого порядка:

$$W(s) = \frac{K_u}{T_us + 1} \quad (4)$$

Исходя из того, что ВУ и ПД соединены последовательно, имеем передаточную следующую функцию:

$$W(s) = \frac{K_u(K_OU_p + F_B)}{(T_us + 1)(ms^2 + K_ds + C_p)} \quad (5)$$

Найдем корни характеристического уравнения для всех сочетаний параметров и запишем результат в таблицу 3.

4 Исследование влияния коэффициента упругости C_p на вид переходных процессов

Исследования проводились при значениях коэффициента упругости $0,5C_p$ и $2C_p$ при $F_B = 3\text{Н}$ и $U=0\text{В}$. Графики переходных процессов изображены на рисунке 6.

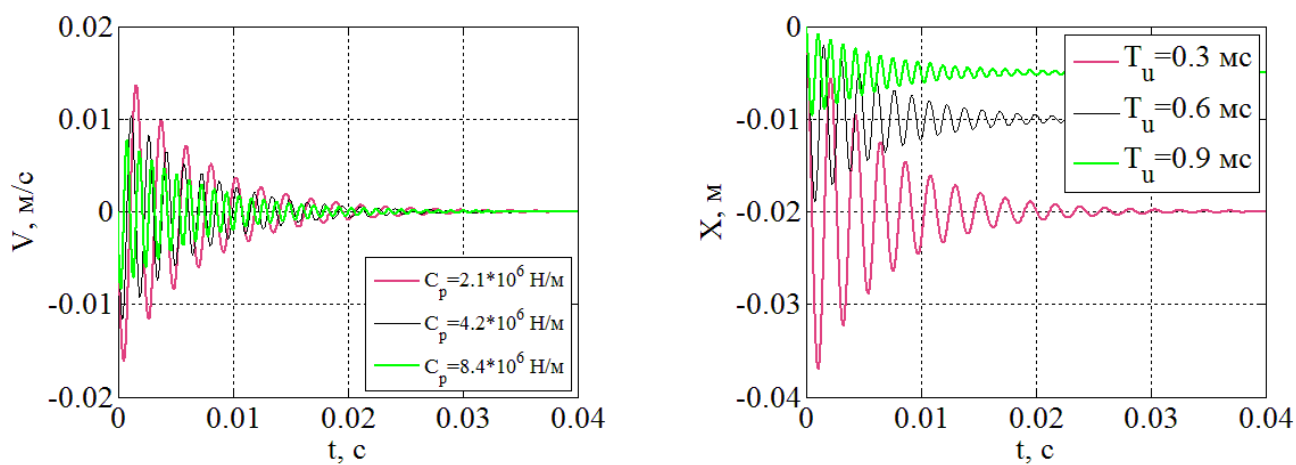


Рисунок 6 – Графики переходных процессов при различных значениях коэффициента упругости

5 Построение асимптотической ЛАЧХ исполнительного устройства

Представим передаточную функцию (3) в виде колебательного звена:

$$W(s) = \frac{\frac{K_0}{C_p}}{\frac{m}{C_p}s^2 + \frac{K_d}{C_p}s + 1}. \quad (6)$$

Асимптотическая логарифмическая амплитудная характеристика будет иметь нулевой наклон на уровне

$$20 \lg \frac{K_0}{C_p} = 20 \lg \frac{10}{4,2 \cdot 10^6} = -112,4 \text{ дБ} \quad (7)$$

до сопрягающей частоты

$$\omega_c = \sqrt{\frac{C_p}{m}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^8}{0,3}} = 4099 \text{ рад/с}. \quad (8)$$

После сопрягающей частоты график пойдёт под наклоном в -40 дБ/дек. Таким образом асимптотическая ЛАЧХ будет выглядеть так как показано на рисунке 7:

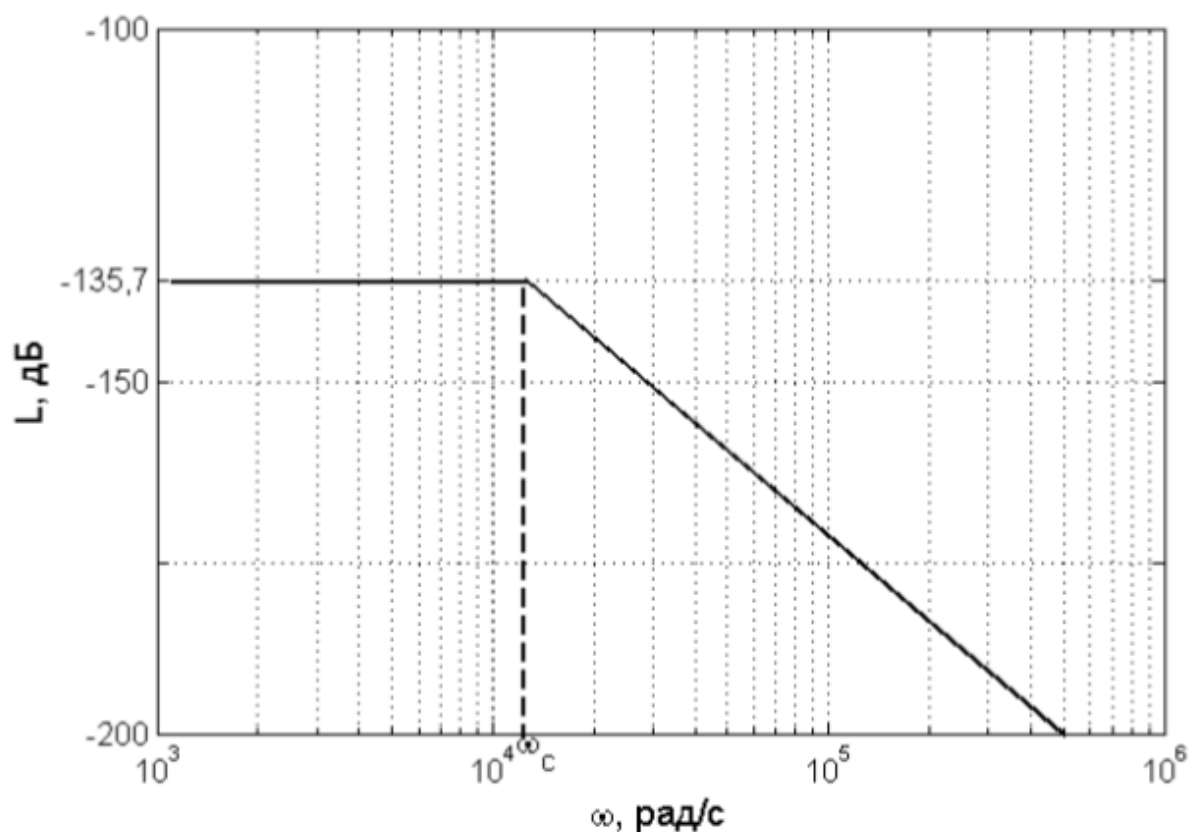


Рисунок 7 – Асимптотическая ЛАЧХ исполнительного устройства

Вывод

В ходе лабораторной работы было проведено исследование пьезоэлектрического устройства. Были выявлены изменения в переходных процессах системы путём изменения таких параметров как масса нагрузки, постоянная времени, коэффициент упругости.

Как видно из таблицы 2 при уменьшении массы нагрузки установившееся значение перемещения остаётся постоянным, а значение времени переходного процесса и перерегулирования уменьшается.

При исследовании влияния постоянной времени вольтного усилителя было показано, что её увеличение ведёт к уменьшению перерегулирования, а также к уменьшению одного из корней характеристического уравнения, что можно увидеть в таблице 3.

Из графиков (рисунок 6) видно, что при увеличении значения коэффициента упругости пьезоэлемента увеличивается установившееся значение перемещения пьезокерамических пластин.