

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

**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 - 02

Выполнил \_\_\_\_\_ (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

Целью работы является изучение математических моделей и исследование характеристик исполнительного устройства, построенного на основе пьезоэлектрического двигателя микроперемещений.

## Исходные данные

На рисунке 1 приведена структурная схема пьезоэлектрического двигателя, параметры двигателя - таблица 1

Таблица 1 – Исходные данные

$C_p$ , Н/м	$m$ , кг	$K_0$ , Н/В	$K_d$ , Н·с/м	$T_u$ , мс	$F_B$ , Н
$0,5 \cdot 10^8$	0,3	8,2	$0,9 \cdot 10^3$	0,06	80

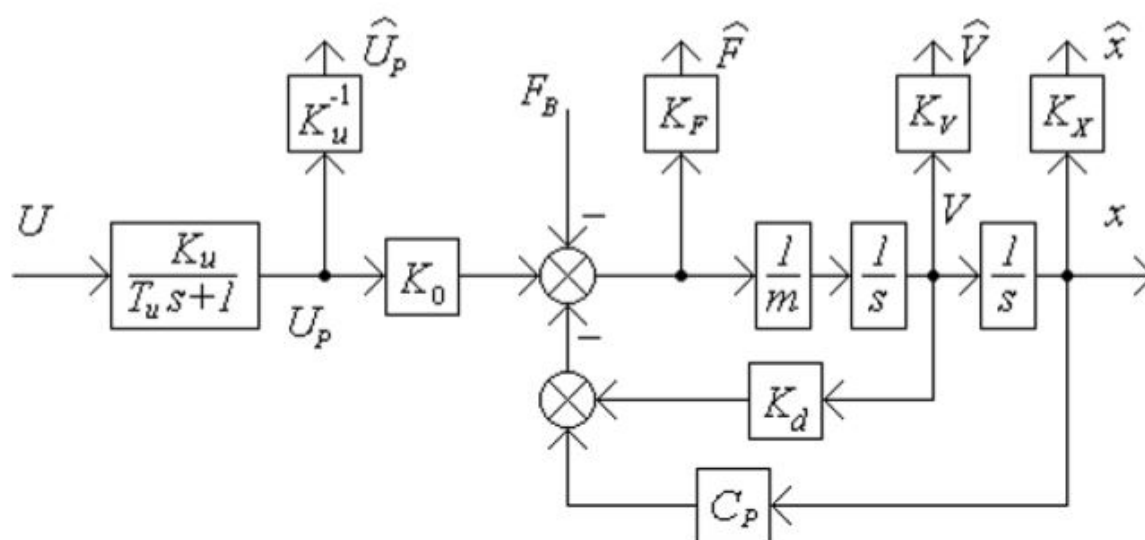


Рисунок 1 – Структурная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства

Коэффициенты передачи измерительных устройств  $K_u^{-1}$ ,  $K_F$ ,  $K_V$  и  $K_X$  выбираются таким образом, чтобы обеспечить соответствие максимального значения измеряемого сигнала уровню 10 В на выходе измерительного устройства. В итоге получим следующие значения коэффициентов:

$$K_u = 30 \quad (1)$$

$$K_F = 0.0081 \quad (2)$$

$$K_V = 22.9382 \quad (3)$$

$$K_X = 2.03267 \cdot 10^5 \quad (4)$$

# 1 Вывод передаточных функций

Рассмотрим пьезоэлектрическое устройство как упругую для составления передаточной функции, из уравнения баланса сил в пьезодвигателе:

$$m\ddot{x} + K_d\dot{x} + C_px = K_0U_p + F_B \quad (5)$$

Из уравнения 5, при нулевом внешнем воздействии можно составить передаточную функцию для пьезодвигателя:

$$W_{pz}(s) = \frac{K_0}{ms^2 + K_ds + C_p}. \quad (6)$$

Управление ПД осуществляется с вольтного усилителя, который, в нашем случае, описывается апериодическим звеном первого порядка:

$$W_v(s) = \frac{K_u}{T_us + 1}, \quad (7)$$

Так как  $W_{pz}$  и  $W_v$  соединены последовательно, получаем итоговую передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{K_0 \cdot K_u}{(T_us + 1)(ms^2 + K_ds + C_p)}. \quad (8)$$

## 2 Исследование исполнительного устройства

Составим математическую модель в относительно исходных данных и получившихся значений коэффициентов. Модель представлена на рисунке 2, а на рисунке 3 - графики переходных процессов при нулевом внешнем воздействии.

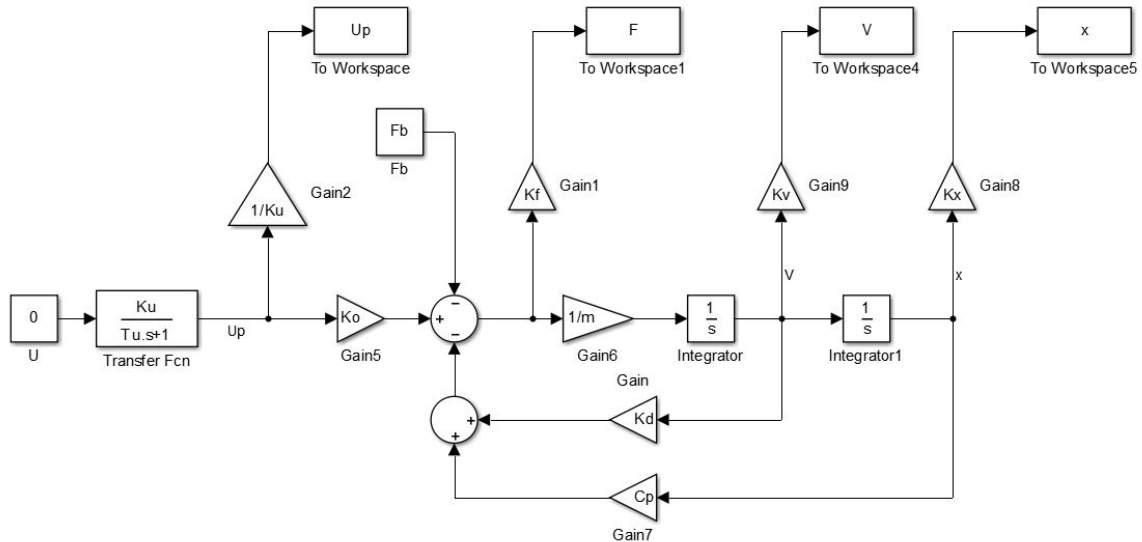


Рисунок 2 – Функциональная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства

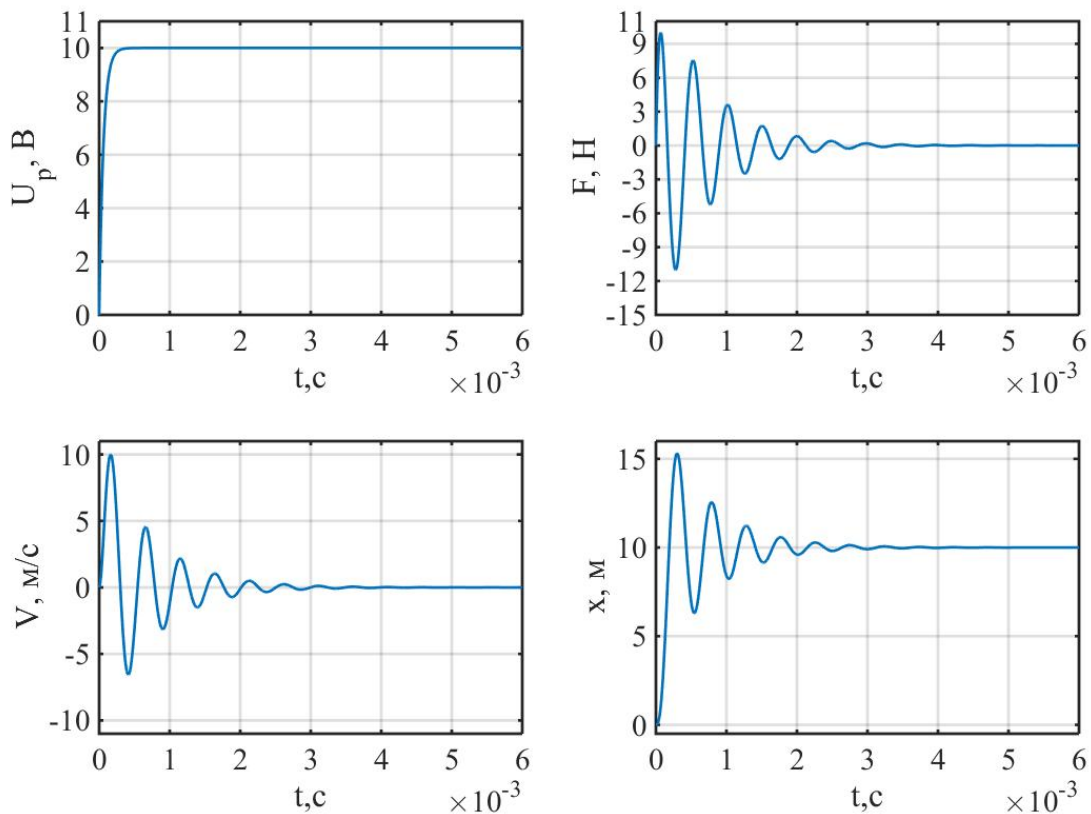


Рисунок 3 – Переходные процессы при  $F_b = 0$  и  $U = 10$  В

### 3 Исследование влияния массы нагрузки на вид переходных процессов

На рисунках 4 - 7 показаны переходные процессы при различных значениях массы нагрузки. В таблице 2 приведена зависимость характеристик системы от массы нагрузки.

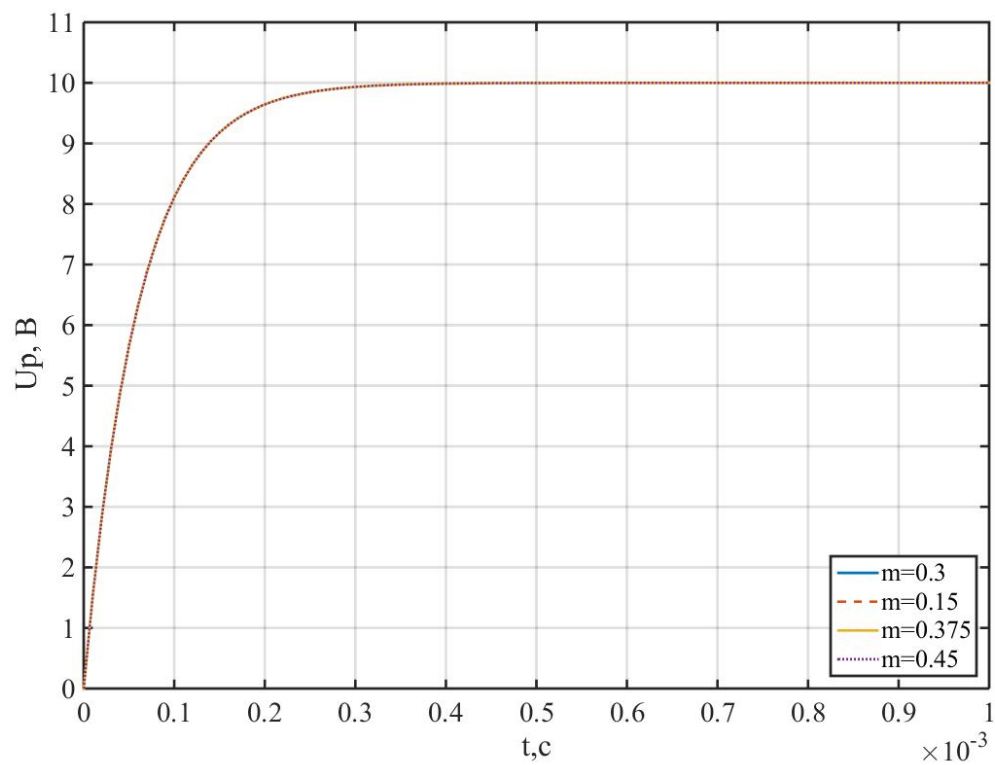


Рисунок 4 – Переходные процессы при изменении массы

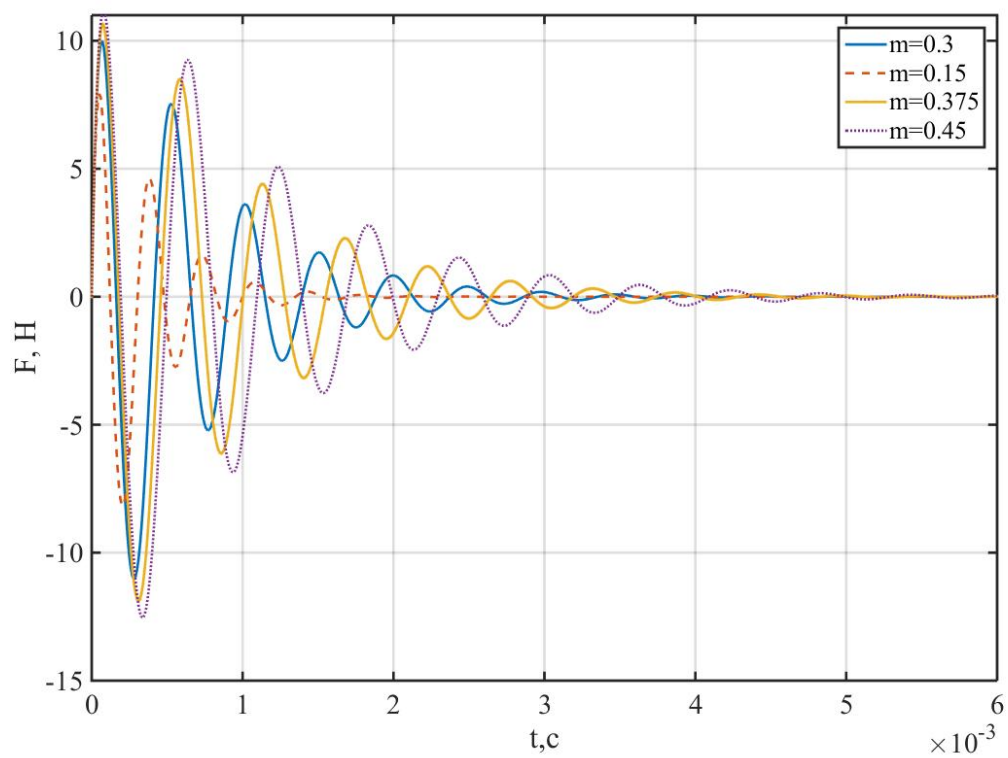


Рисунок 5 – Переходные процессы при изменении массы

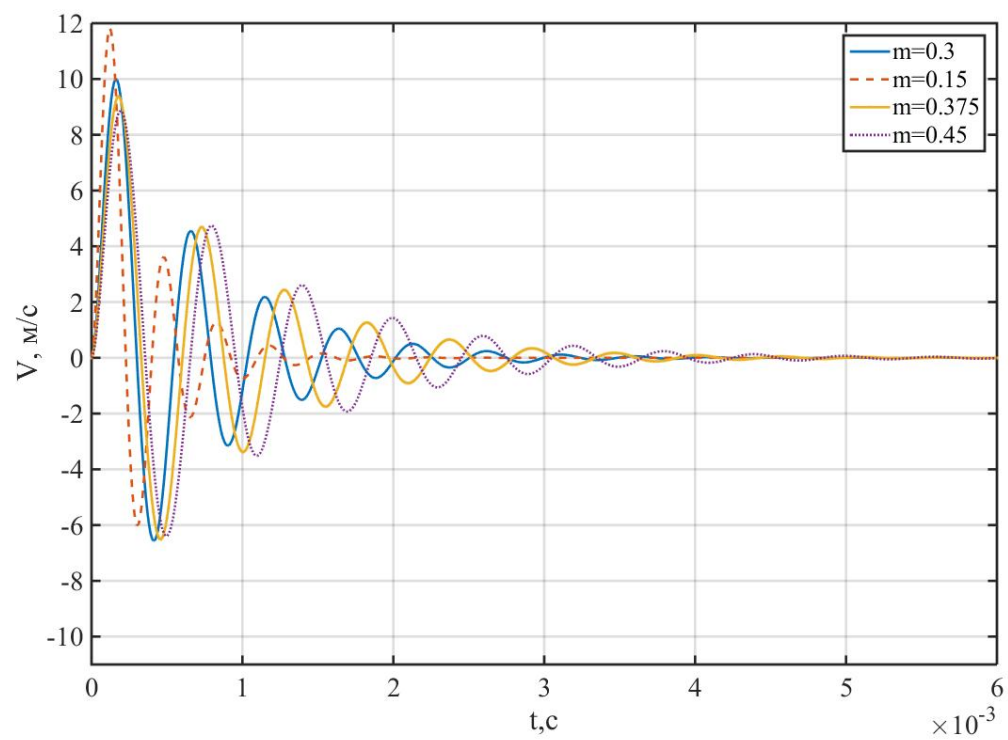


Рисунок 6 – Переходные процессы при изменении массы

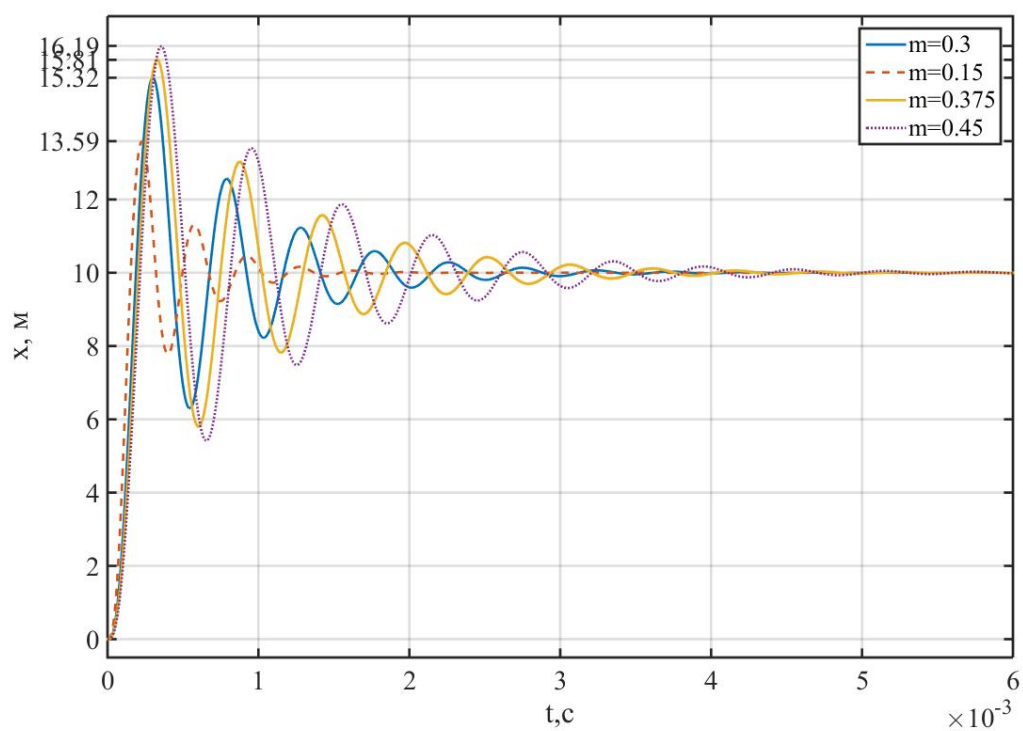


Рисунок 7 – Переходные процессы при изменении массы

Таблица 2 – Данные переходных процессов при изменяющейся массе нагрузки

$m$ , кг	$t_n$ , с	$\sigma$ , %	$x_y$
0,15	0,8	35,9	10
0,3	1,81	53,2	10
0,375	2,29	58,1	10
0,45	2,79	61,9	10

## 4 Исследование влияния постоянной времени на вид переходных процессов

Передаточная функция системы:

$$W(s) = \frac{K_U K_0}{T_U m s^3 + (m + K_d T_U) s^2 + (K_d + C_p T_U) s + C_p} \quad (9)$$

В таблице приведена зависимость характеристик системы от постоянной времени и рассчитанные корни передаточной функции 9.

Таблица 3 – Данные переходных процессов при изменяющейся постоянной времени

$T_u$ , мс	$t_n$ , мс	$\sigma$ , %	$x_y$	$s_1$	$s_2$	$s_3$
0,06	1,8	53,2	10	-16666,67	$-1500 + j12822,5$	$-1500 - j12822,5$
0,12	1,6	30,1	10	-8333,33	$-1500 + j12822,5$	$-1500 - j12822,5$
0,24	1,2	6,1	10	-4166,67	$-1500 + j12822,5$	$-1500 - j12822,5$
0,36	1,1	0,7	10	-2777,78	$-1500 + j12822,5$	$-1500 - j12822,5$

На рисунках 8 - 11 показаны переходные процессы при различных значениях массы нагрузки.

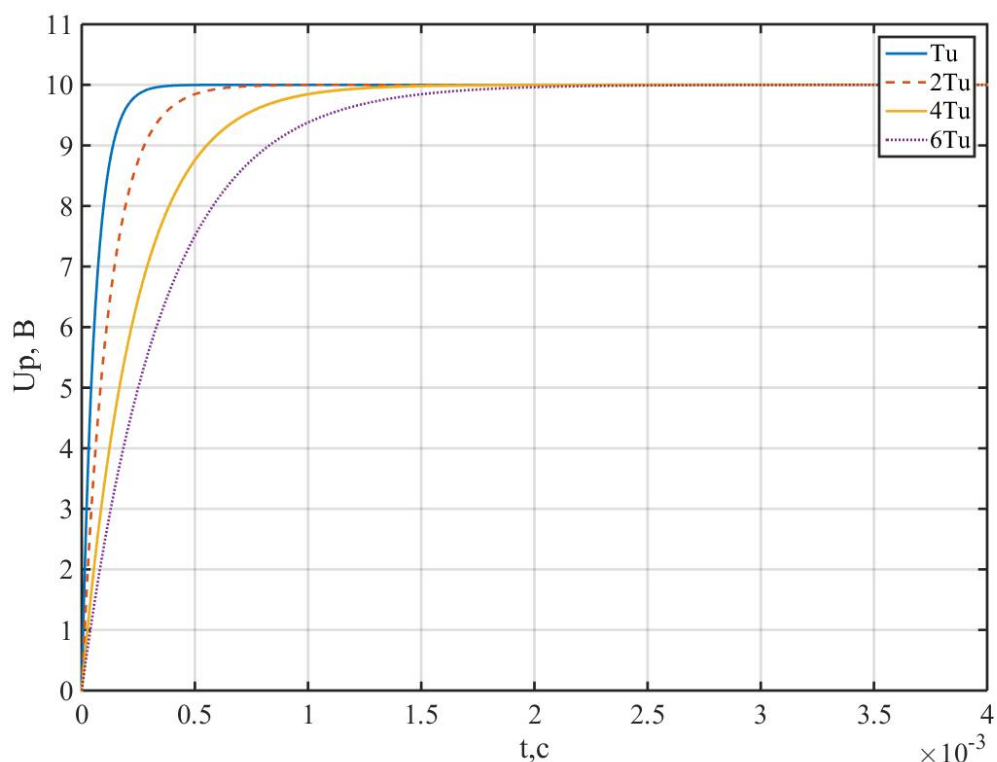


Рисунок 8 – Переходные процессы при изменении постоянной времени



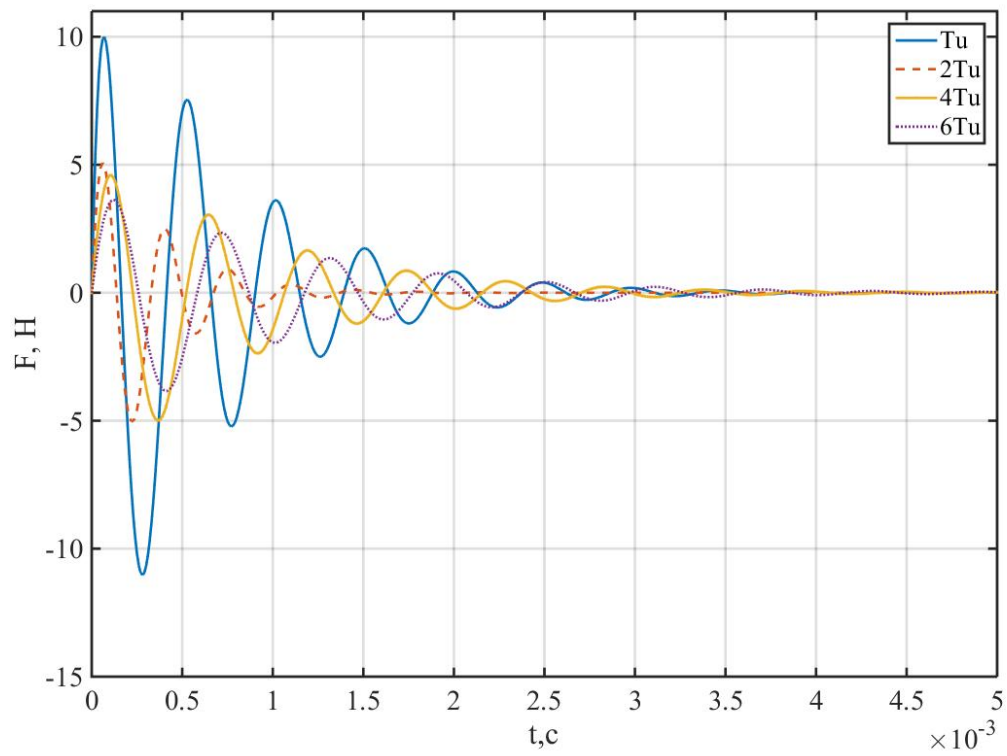


Рисунок 9 – Переходные процессы при изменении постоянной времени

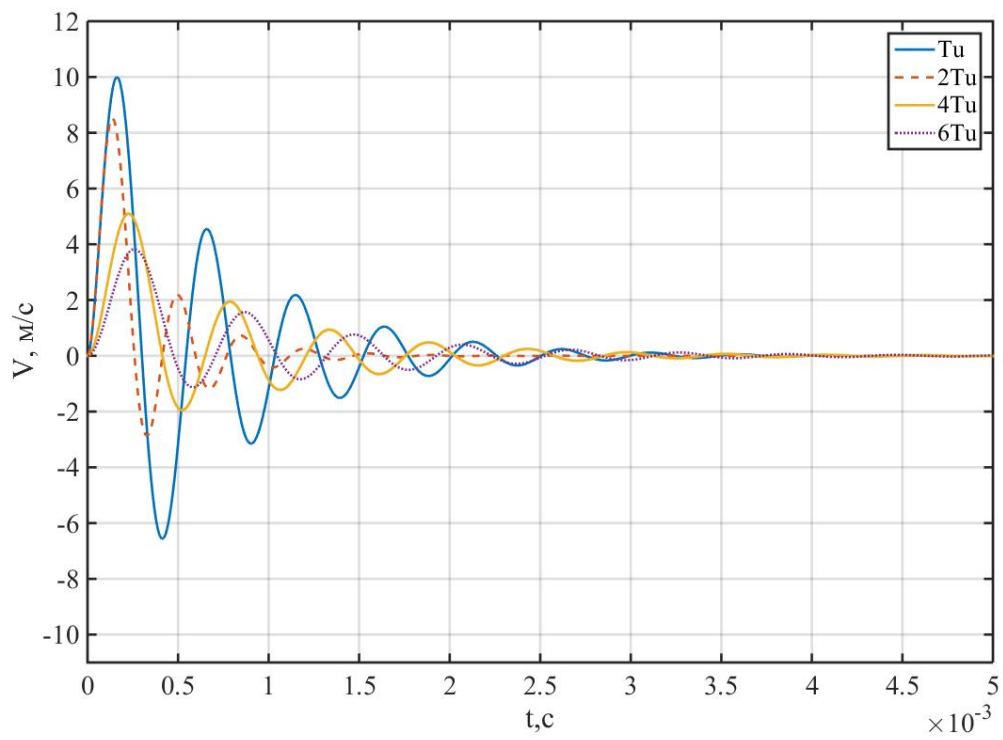


Рисунок 10 – Переходные процессы при изменении постоянной времени

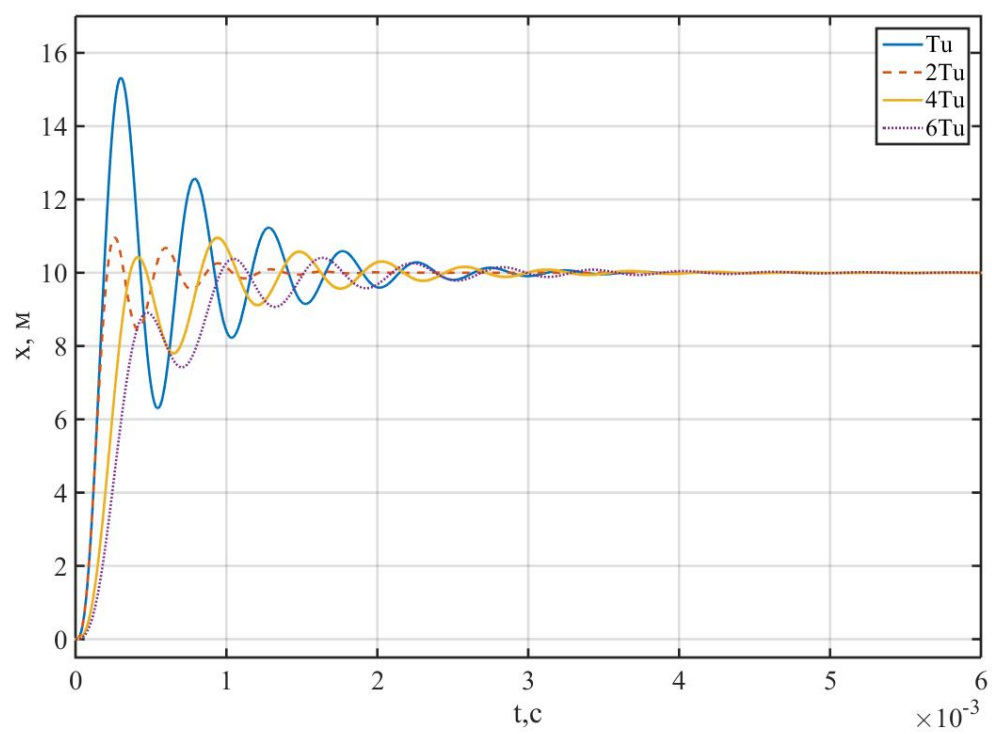


Рисунок 11 – Переходные процессы при изменении постоянной времени

## 5 Исследование влияния коэффициентов упругости на вид переходных процессов

На рисунках 12 и 13 показаны переходные процессы по скорости и положению, относительно коэффициента упругости.

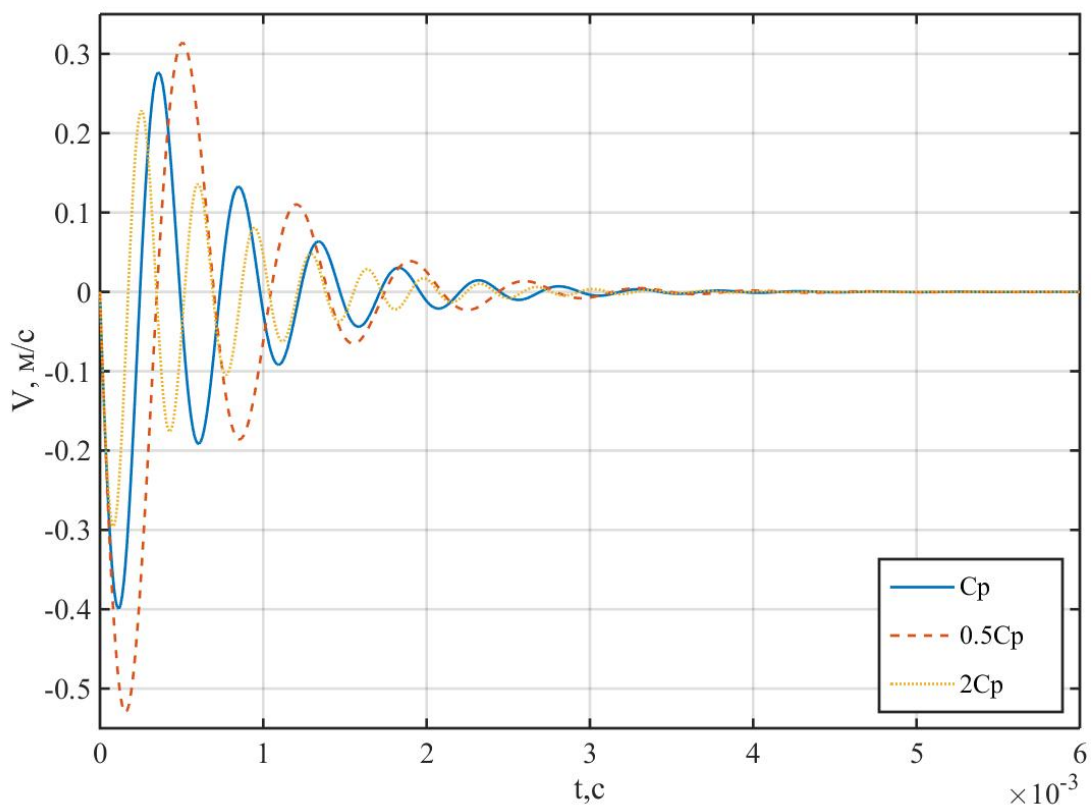


Рисунок 12 – Переходные процессы при изменении коэффициента упругости

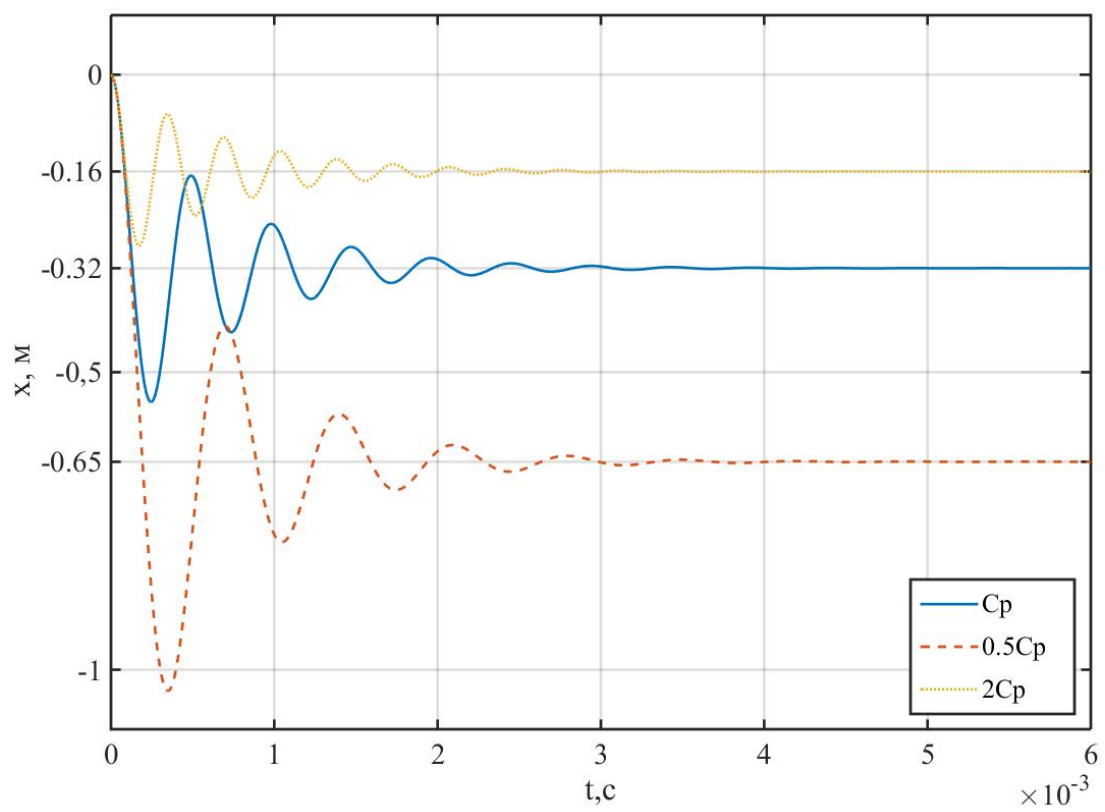


Рисунок 13 – Переходные процессы при изменении коэффициента упругости

## 6 Построение ЛАЧХ исполнительного устройства

Представим асимптотическую логарифмическую характеристику для нашей системы в виде колебательного звена:

$$W(s) = \frac{\frac{K_0}{C_p}}{\frac{m}{C_p}s^2 + \frac{K_d}{C_p}s + 1}. \quad (10)$$

Асимптотическая ЛАЧХ будет иметь нулевой наклон на уровне

$$20 \log_{10} \frac{K_0}{C_p} = 20 \log_{10} \frac{8,2}{0,5 \cdot 10^8} = -135,7 \quad (11)$$

до частоты среза

$$\omega_{cp} = \sqrt{\frac{C_p}{m}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^8}{0,3}} = 1,29 \cdot 10^4 \text{ рад/с}. \quad (12)$$

На рисунке 14 видно где асимптотическая ЛАЧХ имеет нулевой наклон и после какой частоты ее наклон составляет -40 дБ/дек.

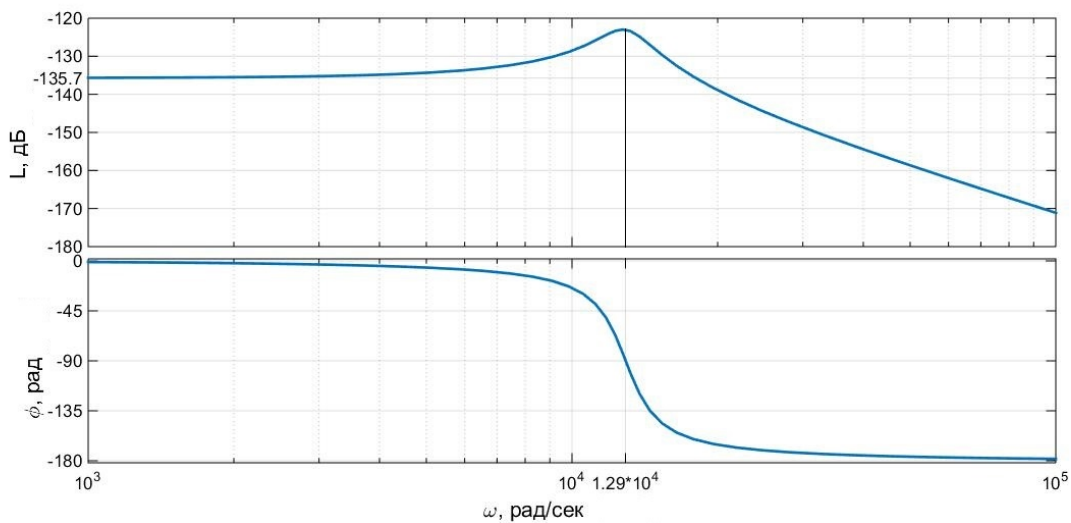


Рисунок 14 – Асимптотическая ЛАЧХ

## Вывод

В лабораторной работе было исследовано пьезоэлектрическое устройство, которое можно представить в виде колебательного звена.

При исследовании влияния массы нагрузки на пьезоэлектрическое устройство, было выявлено, что при ее увеличении, увеличивается время переходного процесса

При изменении постоянной времени изменяется время переходного процесса и перерегулирование. При увеличении  $T_u$ , растет  $t_n$  и убывает  $\sigma$ , установившееся значение остается неизменным.

При исследовании коэффициента упругости было выявлено, что, при увеличении  $C_p$ , увеличивается колебательность системы без изменения времени переходного процесса.