

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 - 11

Выполнил \_\_\_\_\_ (подпись)  
(фамилия, и.о.)

Проверил \_\_\_\_\_ (подпись)  
(фамилия, и.о.)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г. Санкт-Петербург, 20 \_\_\_\_ г.

Работа выполнена с оценкой \_\_\_\_\_

Дата защиты " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## Задание

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

Необходимо построить схему ПД, которая изображена на рисунке 1 и провести математическое моделирование при различных значениях параметров системы.

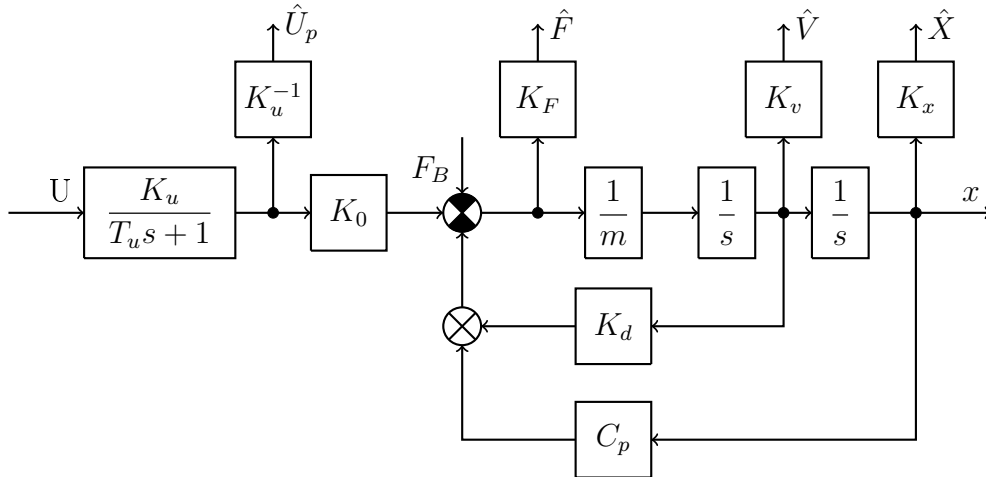


Рисунок 1 – Структурная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства

Параметры данной схемы указаны в таблице 1.

Таблица 1 – параметры  
пьезоэлектрического двигателя

$C_p$	$m$	$K_0$	$K_d$	$T_u$	$F_B$
Н/м	кг	Н/В	Н·с/м	мс	Н
$2 \cdot 10^6$	0.125	7.5	$0.9 \cdot 10^2$	0.15	4

# 1 Анализ пьезоэлектрического двигателя

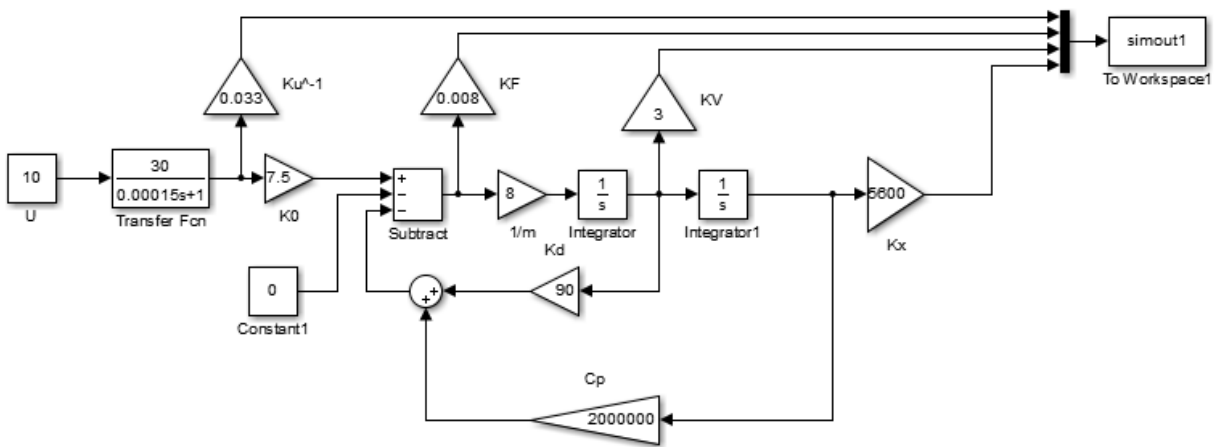


Рисунок 2 – Схема моделирования

Для соответствия выходного сигнала уровню 10, необходимо его домножить на коэффициент, рассчитанные коэффициенты:

$$K_U^{-1}=0.033$$

$K_F=0.008$

$K_V=3$

$K_X=5600$

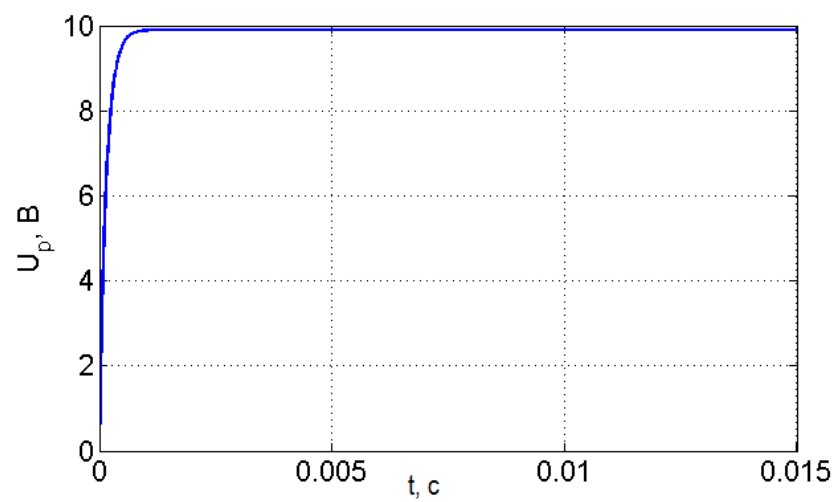


Рисунок 3 – Графика переходного процесса  $U_p(t)$

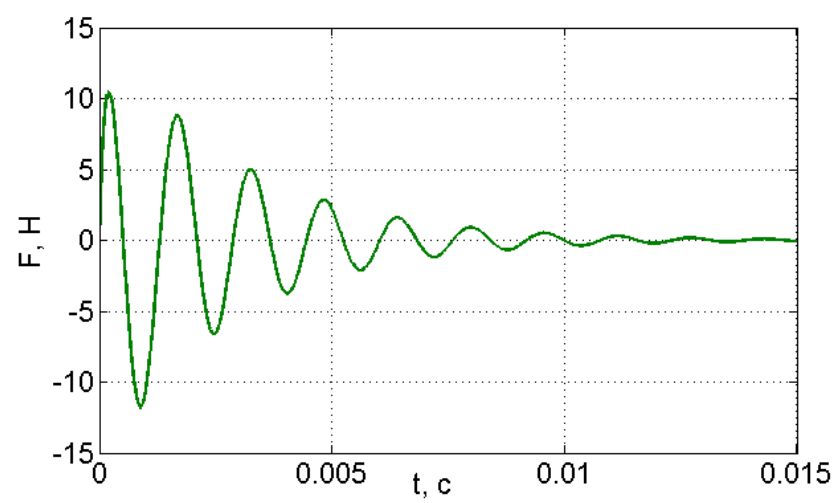


Рисунок 4 – Графика переходного процесса  $F(t)$

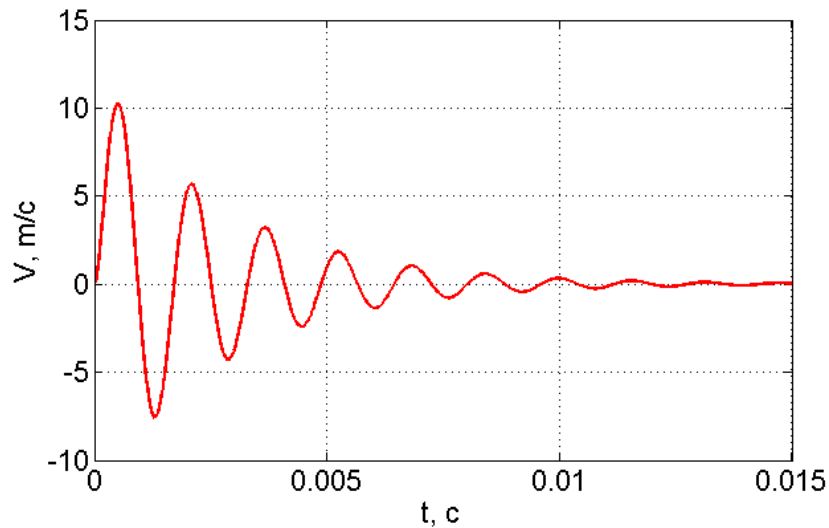


Рисунок 5 – Графика переходного процесса  $V(t)$

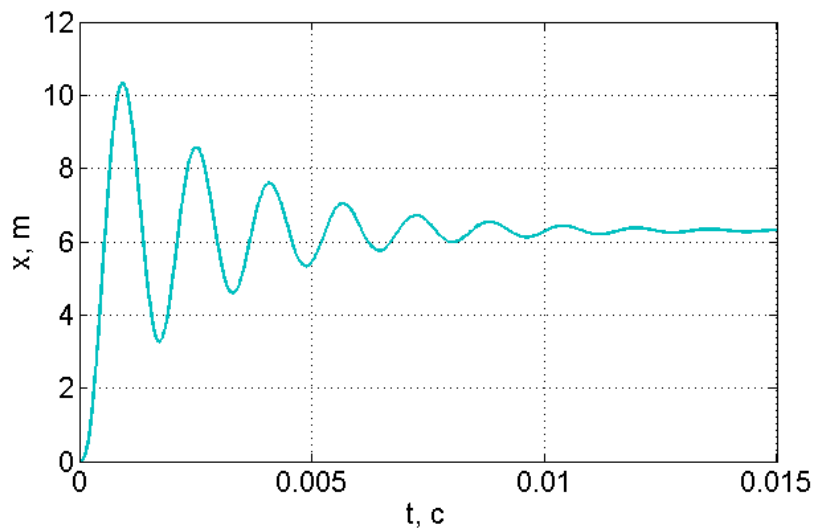


Рисунок 6 – Графика переходного процесса  $x(t)$

## 2 Исследование влияния массы нагрузки $m$ на вид переходных процессов

Таблица 2 – Характеристики системы при различной массе нагрузки

$m$ , кг	0.0625	0.125	0.1875
$t_{п}$ , мс	0.259	0.326	0.379
$\sigma$ , %	49	63.9	70.9
$x$ , $10^{-3}$	0.113	0.113	0.113

Изменяя массу нагрузки в пределах  $[0.5m, 1.5m]$  получим различные виды переходных процессов с различными значениями преререгулирования  $\sigma$ , времени переходных процессов  $t_{п}$ , и установившегося значения выходного сигнала  $x_{уст}$ . Полученные значения представлены в таблице 2.

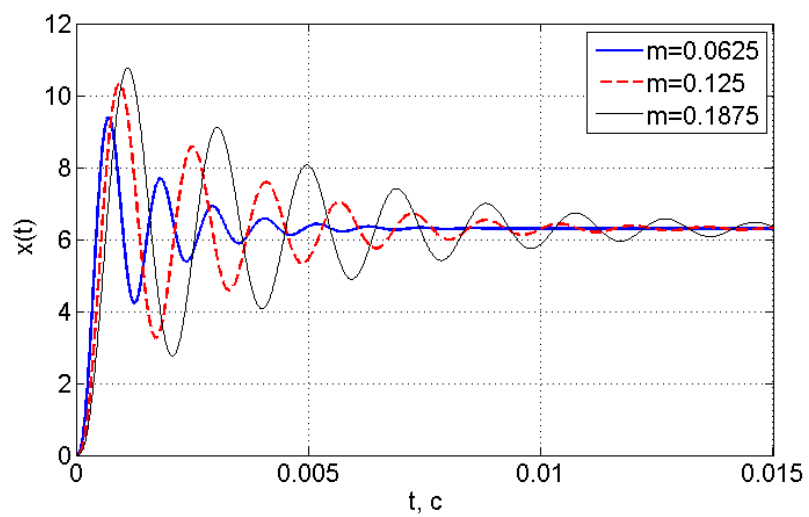


Рисунок 7 – Графика переходного процесса при изменении массы

### 3 Исследование влияния постоянной времени на вид переходных процессов

Передаточная функция системы:

$$W(s) = \frac{K_U K_0}{T_U m s^3 + (m + K_d T_U) s^2 + (K_d + C_p T_U) s + C_p} \quad (1)$$

В таблице 3 приведена зависимость характеристик системы от постоянной времени и рассчитанные корни передаточной функции(1).

Таблица 3 – Характеристики системы при различной постоянной времени

$T_U, \text{мс}$	0.15	0.3	0.6	0.9
$t_{п}, \text{мс}$	0.326	0.393	0.536	0.773
$\sigma, \%$	63.9	44.3	14.1	5.63
$x, 10^{-3} \text{ м}$	0.113	0.113	0.113	0.113
$s_1, 10^3$	-6.67	-3.33	-1.67	-1.11
$s_2, 10^3$	-0.36-3.98i	-0.36-3.98i	-0.36-3.98i	-0.36-3.98i
$s_3, 10^3$	-0.36+3.98i	-0.36+3.98i	-0.36+3.98i	-0.36+3.98i

На рисунке 8 приведены графики переходных процессов системы при изменении постоянной времени.

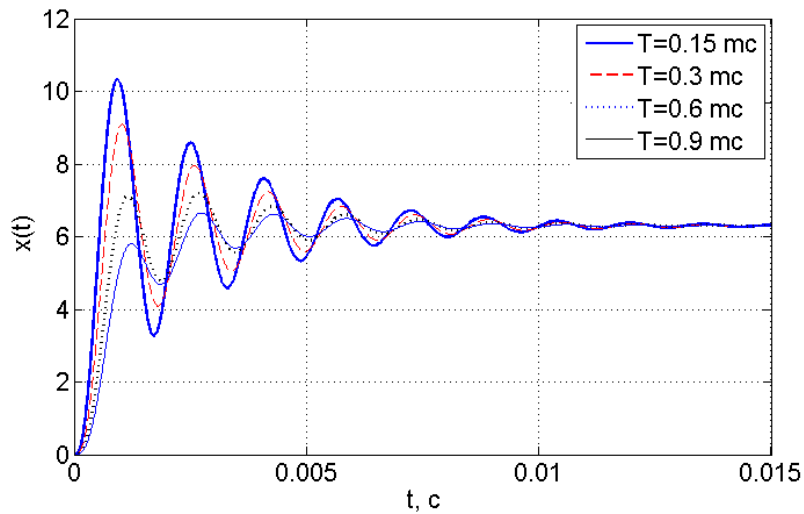


Рисунок 8 – Графика переходного процесса при изменению  $T_\mu$

С увеличением постоянной времени высоковольтного усилителя снижает перерегулирование и время переходного процесса. На установившееся значение перемещения постоянная времени не влияет

## 4 Исследование влияния коэффициента упругости $C_p$

Исследуем поведение системы, варьируя  $C_p$ , при выключенном питании  $U = 0$  и приложенном воздействии  $F_B = 4$ . На рисунке 9 и 10 представлены полученные в результате математического моделирования переходные процессы при различных  $C_p$ .

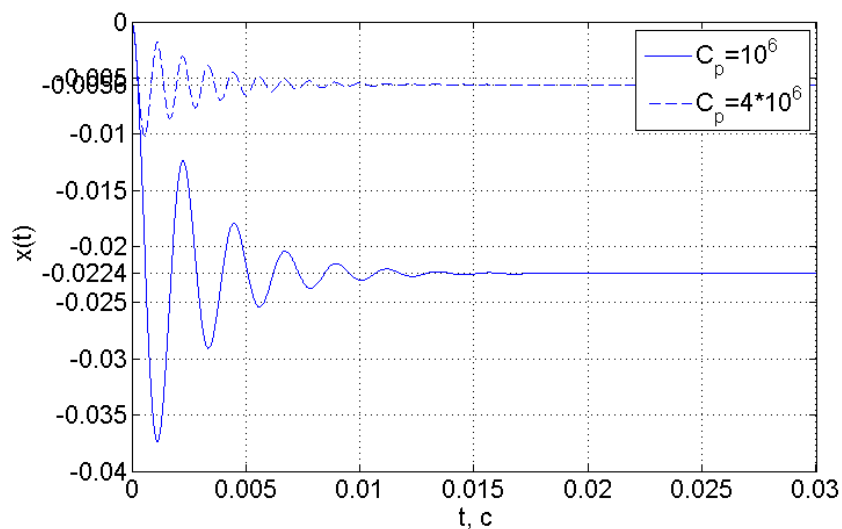


Рисунок 9 – Графика переходного процесса  $x(t)$  при изменении  $C_p$

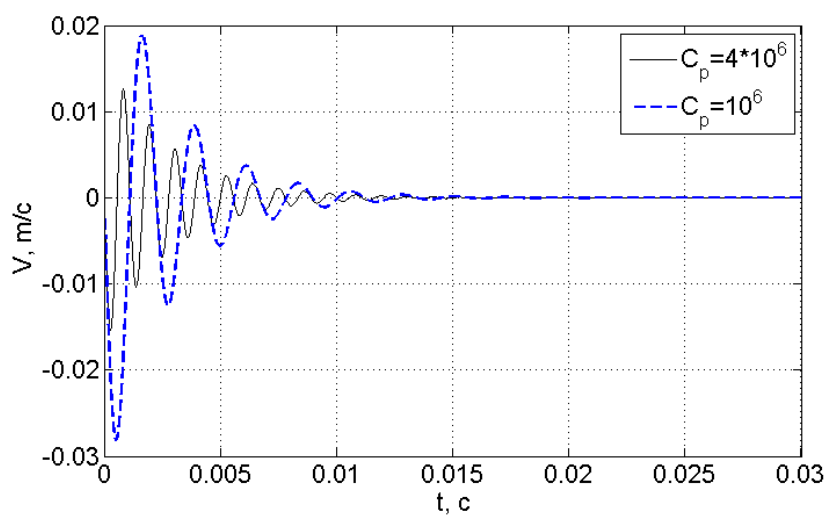


Рисунок 10 – Графика переходного процесса  $V(t)$  при изменении  $C_p$



Из передаточной функции (1) мы построим ЛАЧХ системы

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

$$W(jw) = \frac{K_U K_0}{(C_p - mw^2 - K_d T_u w^2) + j(C_p T_u + K_d w - T_u m w^3)} \quad (3)$$

$$A(w) = \frac{K_U K_0}{\sqrt{(C_p - mw^2 - K_d T_u w^2)^2 + (C_p T_u + K_d w - T_u m w^3)^2}} \quad (4)$$

$$L(w) = 20 \lg A(w) \quad (5)$$

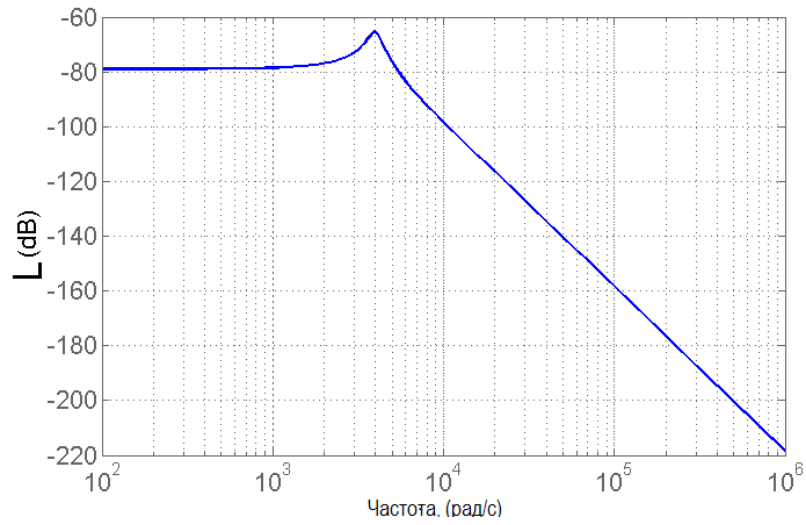


Рисунок 11 – Графика ЛАЧХ системы

## Выводы

В работе была исследована математическая модель и зависимости переходных процессов исполнительного устройства, построенного на основе пьезоэлектрического двигателя микроперемещений, от его параметров и внешних воздействий

При увеличении массы нагрузки  $m$ , увеличивается перерегулирование  $\sigma$  и время переходных процессов  $t_{\text{п}}$ .

При увеличении постоянной времени  $T_u$ , уменьшается значение перерегулирования, и времени переходного процесса.

При увеличении коэффициента упругости  $C_p$  уменьшается влияние сил системы и как следствие снижается амплитуда колебания и установившееся значение  $x_{\text{уст}}$ .