

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 - 3

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

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

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

Работа выполнена с оценкой _____

Дата защиты "__" _____ 20__г.

1 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.

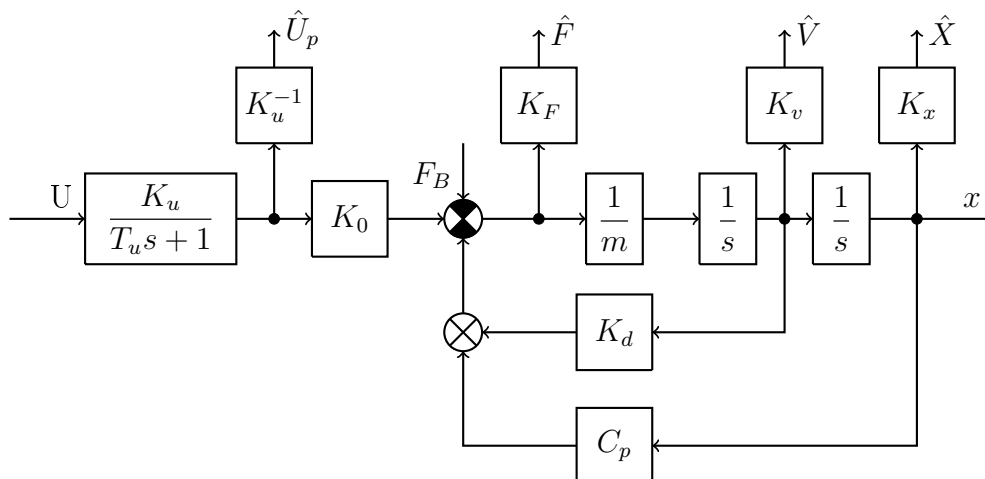


Рисунок 1 – Структурная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства

Параметры данной схемы указаны в таблице 1.

Таблица 1 – параметры пьезоэлектрического двигателя

C_p Н/м	m кг	K_0 Н/В	K_d Н·с/м	T_u мс	F_B Н
$0.8 \cdot 10^8$	0.5	9.3	$0.8 \cdot 10^3$	0.08	75

2 Анализ пьезоэлектрического двигателя

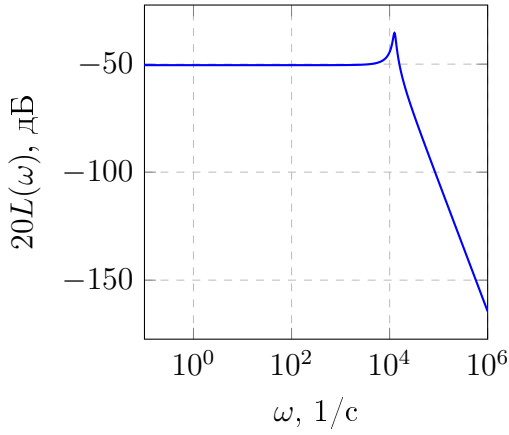


Рисунок 2 – ЛАЧХ исполнительного элемента

Исполнительное устройство можно представить в следующем (операторном) виде.

$$x = \frac{K_u K_0 U - T_u F_B s - F_B}{(T_u s + 1)(ms^2 + K_d s + C_p)} \quad (1)$$

Из выражения (1) можем вывести выражения для ЛАЧХ исследуемого объекта.

$$A(\omega) = \sqrt{\frac{(K_u K_d U - F_B)^2 + (T_u F_B \omega)^2}{(1 + (T_u \omega)^2)((C_p - m\omega^2)^2 + (K_d \omega)^2)}} \quad (2)$$

В итоге, можем по выражению 2 можем построить саму характеристику. Эта характеристика построена на рисунке 2.

На рисунке 3 представлены переходные процессы в ПД при возмущающем воздействии $F_B = 0$. Как видно процесс имеет колебательный характер, затухающий по экспоненте.

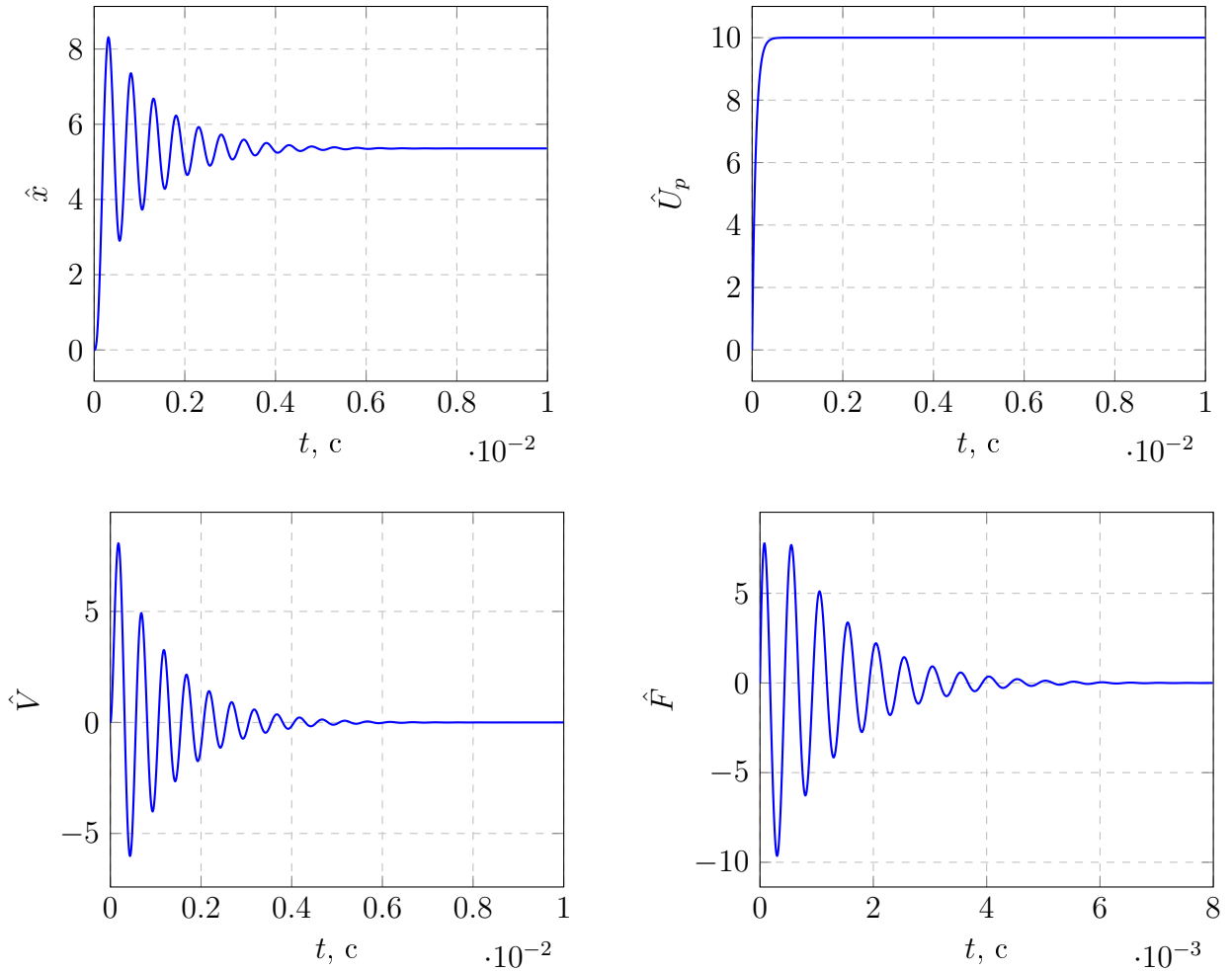


Рисунок 3 – Переходные процессы в ПД

3 Исследование влечения массы m нагрузки на вид переходных процессов

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

Таблица 2 – Данные о переходных процессах при изменении момента нагрузки

m	$x_{уст}$	t_{π}	σ
0.25	5.36	$1.2 \cdot 10^{-4}$	37.01
0.38	5.36	$1.3 \cdot 10^{-4}$	48.07
0.5	5.36	$3.5 \cdot 10^{-4}$	54.98
0.63	5.36	$6.4 \cdot 10^{-4}$	60.22
0.75	5.36	$7.2 \cdot 10^{-4}$	63.94

При изменении массы не изменяется $x_{уст}$. С увеличением массы увеличиваются значения пререгулирования и времени переходных процессов. Этот факт объясняется увеличением динамического усилия $F_{\text{д}}$, представленным выражением ниже.

$$F_{\text{д}} = -m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Как видно масса является коэффициентом пропорциональности, соответственно при его увеличении амплитуда колебаний увеличивается. При установлении переходного процесса ускорение стремится к нулю, как следствие влечение массы на переходной процесс также стремится к нулю.

Все это подтверждают графики, полученные в результате математического моделирования системы. Они представлены на рисунке 4.

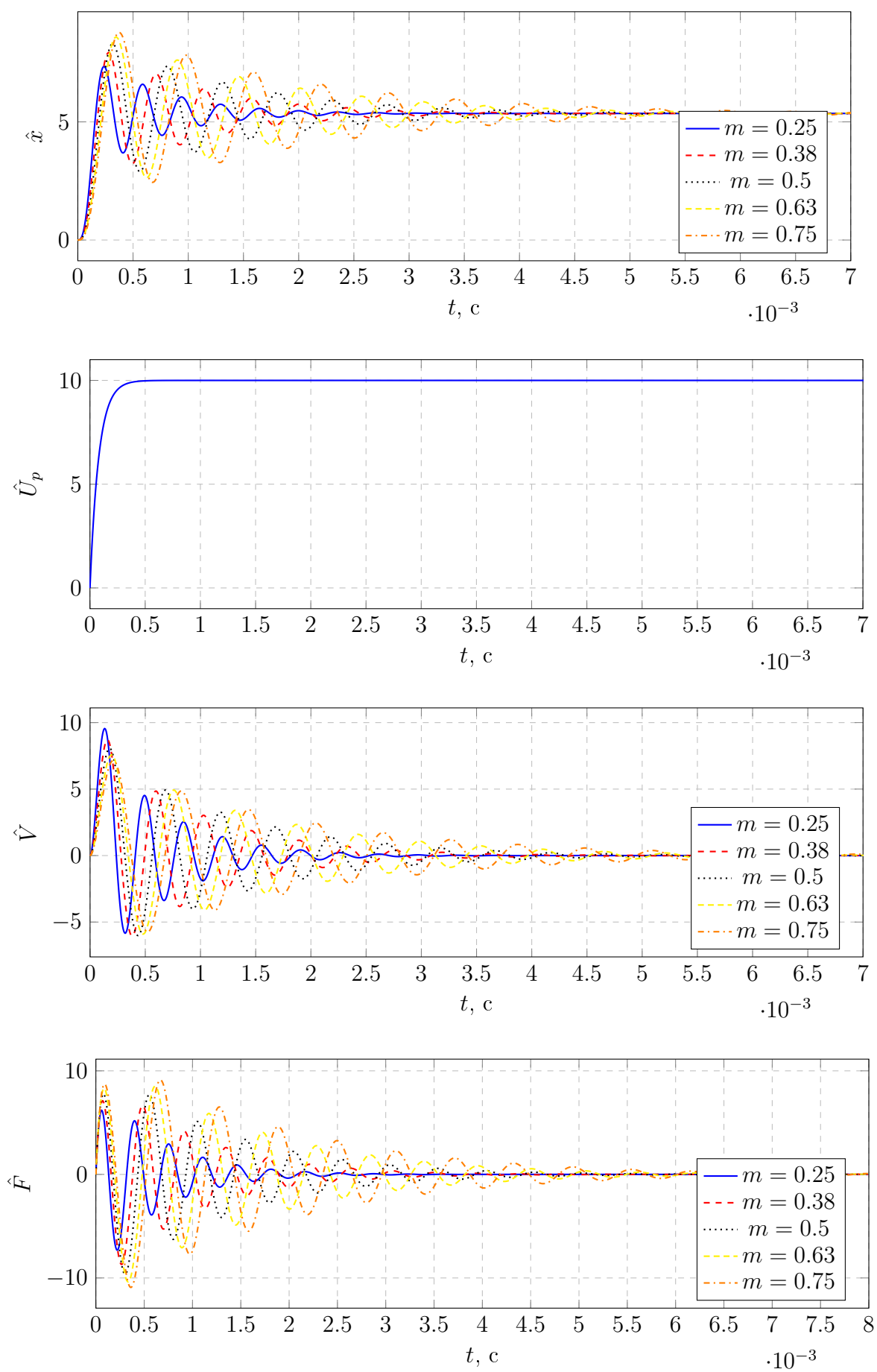


Рисунок 4 – Влияние массы m на качество переходных процессов

4 Исследование влияния T_u на вид переходных процессов

Изменяя время T_u получим различные виды переходных процессов с различными значениями пререгулирования σ , времени переходных процессов t_p , и установившегося значения выходного сигнала $x_{уст}$. Полученные значения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные о переходных процессах при изменении времени T_u

T_u	$x_{уст}$	t_p	σ
$8 \cdot 10^{-5}$	6.47	$3.5 \cdot 10^{-4}$	54.98
$1.6 \cdot 10^{-4}$	6.47	$1.8 \cdot 10^{-4}$	24.49
$3.2 \cdot 10^{-4}$	6.47	$2.3 \cdot 10^{-4}$	6.24
$4.8 \cdot 10^{-4}$	6.47	$2.9 \cdot 10^{-4}$	1.16

При увеличении значения T_u , уменьшаются значения времени переходного процесса и пререгулирования. Так происходит, поскольку явление обратного пьезоэффекта, который характеризуется уравнением, представленным ниже, протекает более плавно, за счет чего разница между силами уменьшается и процесс протекает с меньшей амплитудой колебаний, за счет чего уменьшается время переходного процесса.

$$F_0 = K_0 U_p$$

На рисунке 5 представлены переходные процессы проектируемые в пьезоэлектрическом двигателе при изменении значения постоянной времени T_u .

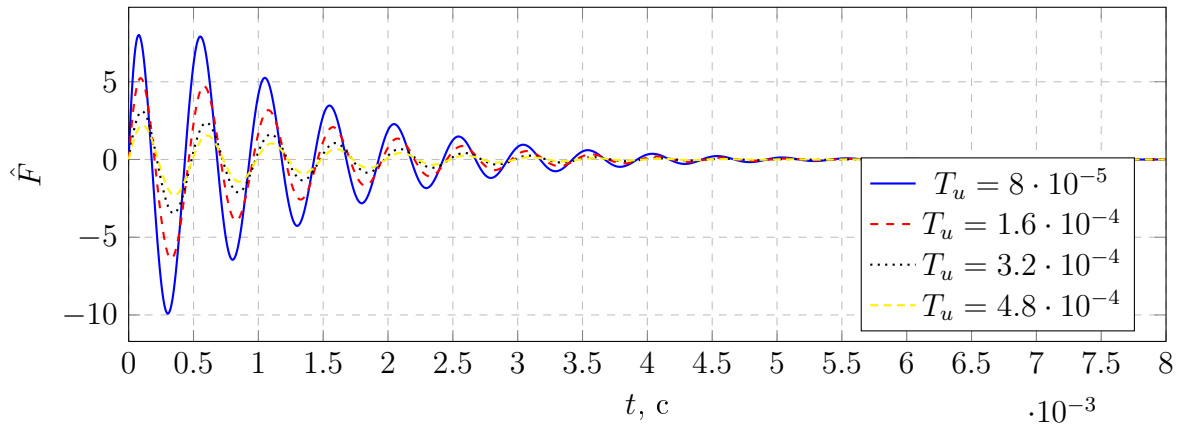
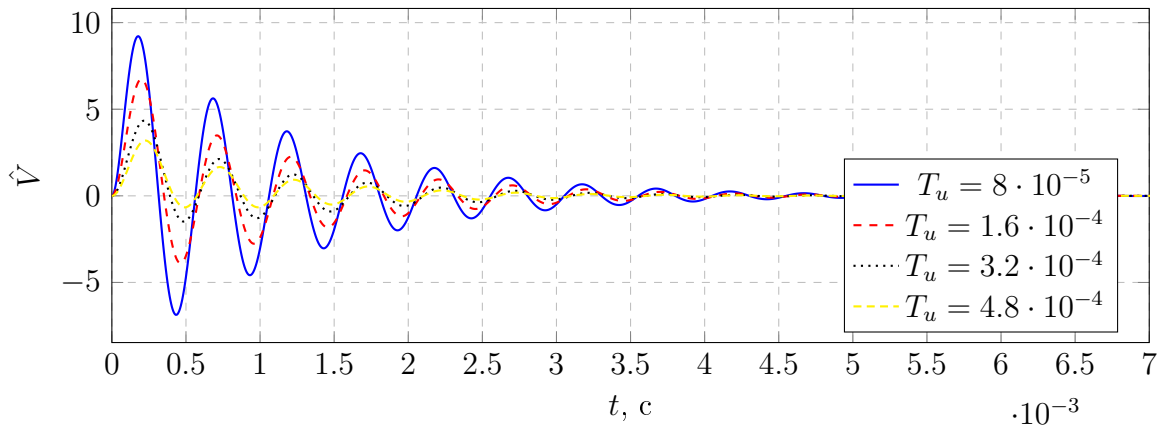
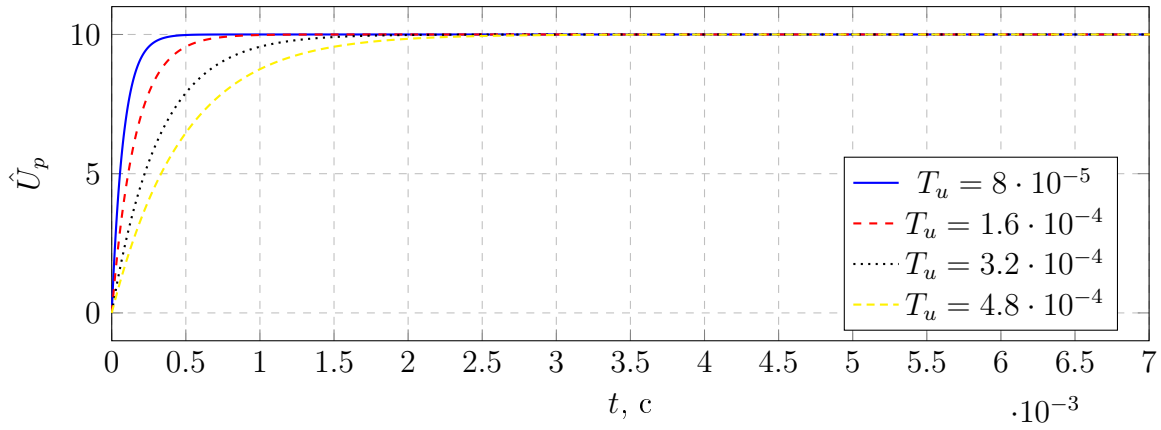
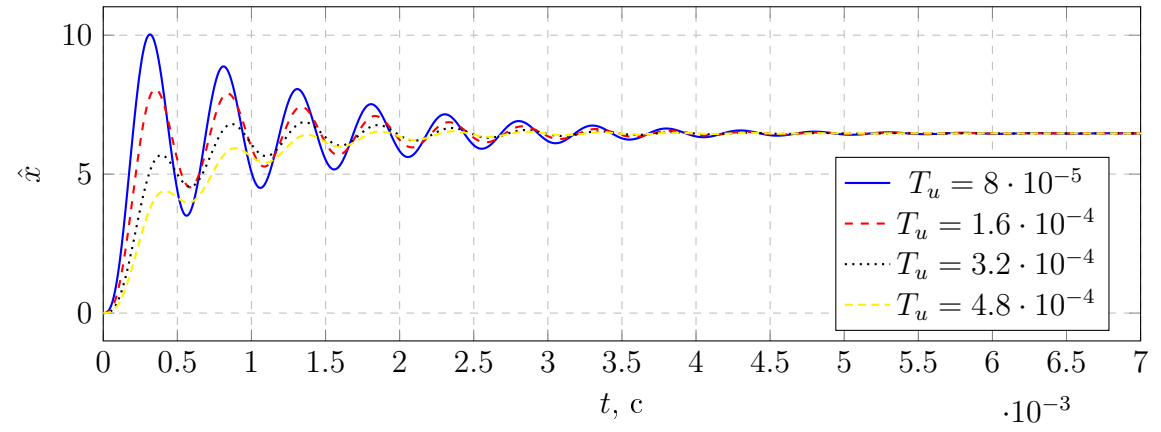


Рисунок 5 – Влияние времени T_u на качество переходных процессов

5 Исследование влияния коэффициента упругости C_p при наличии внешних возмущений F_B

Исследуем поведение системы, варьируя C_p , при выключенном питании $U = 0$ и приложенном воздействии $F_B = 75$. На рисунке 6 представлены полученные в результате математического моделирования переходные процессы при различных C_p .

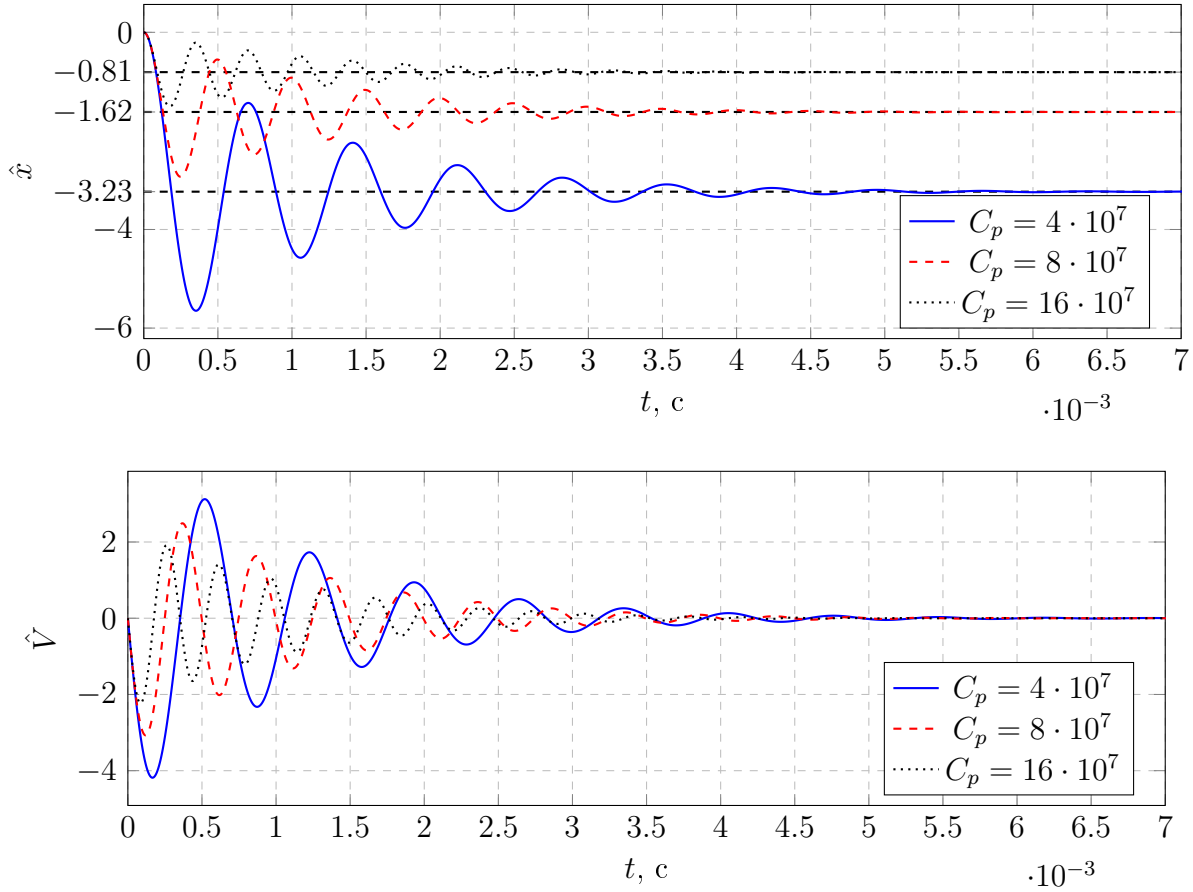


Рисунок 6 – Переходные процессы в ПД при различных C_p и $U = 0$

Как видно из рисунка, при увеличении коэффициента упругости, сопротивление системы увеличивается и как следствие влияние сил снижается на значение C_p , в результате чего снижается амплитуда колебаний и уровень "сжатия" двигателя. Это подтверждает следующее выражение:

$$F_y = C_p x = F_0 + F_{\text{д}} + F_d + F_B \Rightarrow x = \frac{F_0 + F_{\text{д}} + F_d + F_B}{C_p}$$

где F_y - сила упругости, F_0 - обратный пьезоэффект, F_d - демпфирующее усилие, $F_{\text{д}}$ - динамическое усилие.

Выводы

В данной работе мы ознакомились с принципом работы составного пьезоэлектрического двигателя, а также исследовали его математическую модель.

Система имеет комплексно-сопряженные корни с отрицательной вещественной частью. Это видно по переходным процессам, представленным на рисунке 3.

При увеличении массы нагрузки m , вследствие увеличения динамического воздействия F_d , увеличивается перерегулирование σ и время переходных процессов t_n .

При увеличении постоянной времени T_u уменьшается скорость изменения напряжения U_p , соответственно уменьшается разность между силами действующими на ПД и процесс протекает более плавно. Как следствие уменьшается значение перерегулирования, и времени переходного процесса, что прослеживается на рисунке 5.

При увеличении коэффициента упругости C_p уменьшается влияние сил системы и как следствие снижается амплитуда колебаний и установившееся значение $x_{уст}$. Это хорошо прослеживается из выражения: $F = -F_B - K_d\dot{x} - C_px$. Значение x будет уменьшаться до тех пор, пока $x > \frac{-F_B - K_d\dot{x}}{C_p}$, когда x опустится ниже этого значения, скорость начнет менять свой знак, и чем выше C_p , тем раньше это произойдет. Что видно на рисунке 6.