

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.

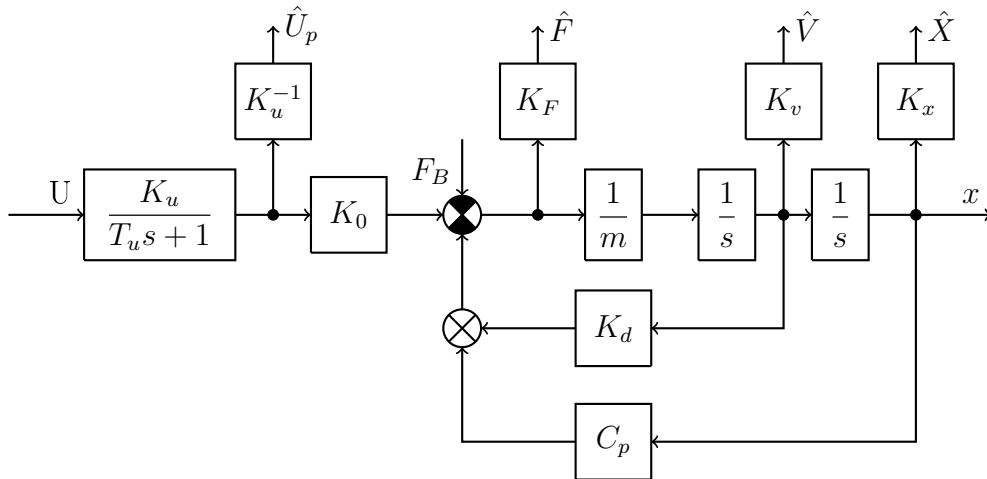


Рисунок 1 – Структурная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства

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
$1.2 \cdot 10^8$	0.8	9.5	10^3	0.05	100

1 Анализ пьезоэлектрического двигателя

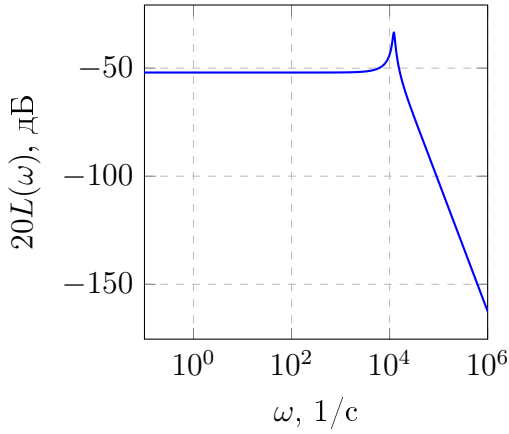


Рисунок 2 – ЛАЧХ исполнительного элемента

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.

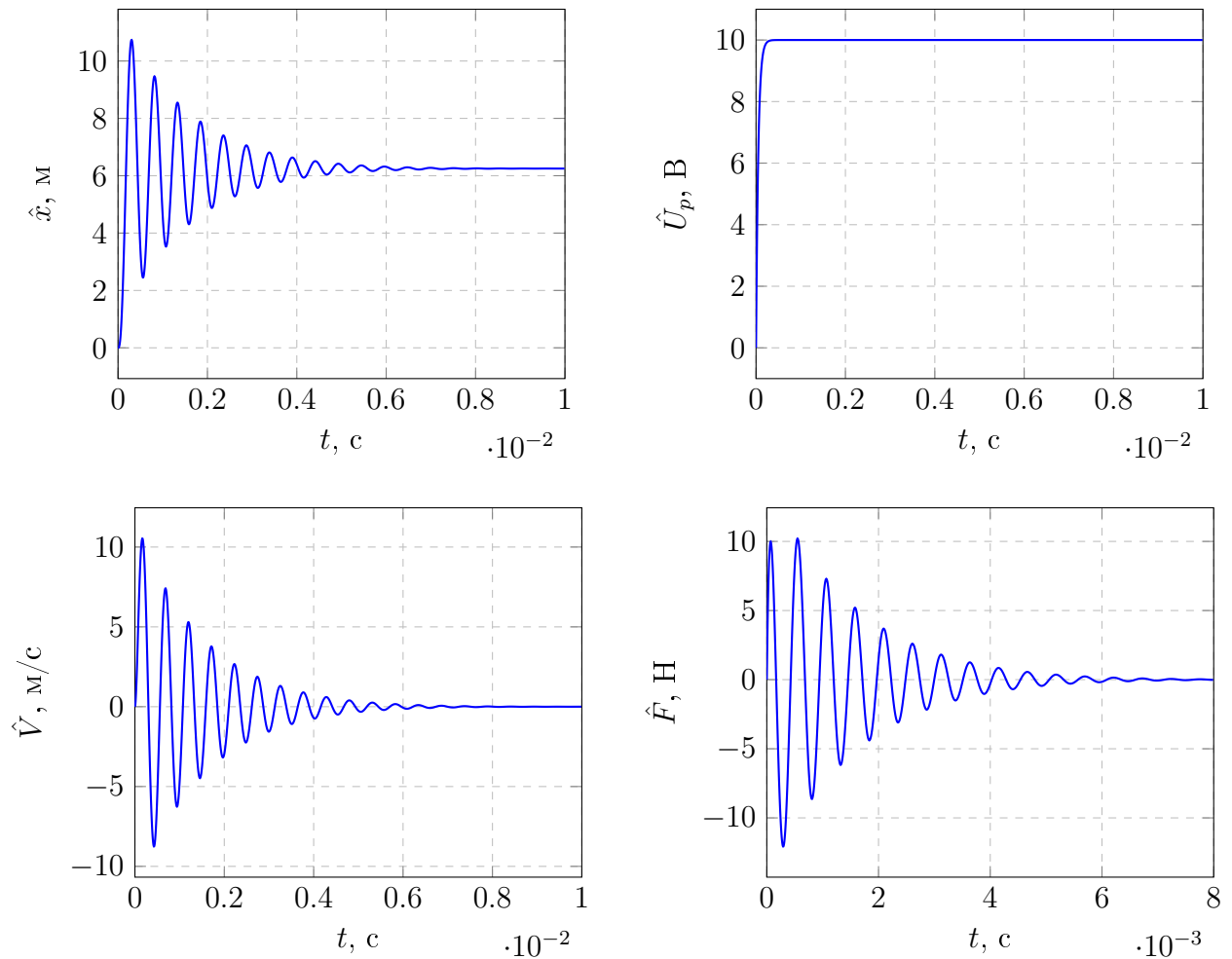


Рисунок 3 – Переходные процессы в ПД

2 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 $t_{\text{п}}$, и установившегося значения выходного сигнала $x_{\text{уст}}$. Полученные значения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные о переходных процессах при изменении момента нагрузки

m	$x_{\text{уст}}$	$t_{\text{п}}$	σ
0.4	6.25	$2.6 \cdot 10^{-4}$	58.31
0.6	6.25	$5.3 \cdot 10^{-4}$	66.64
0.8	6.25	$8.4 \cdot 10^{-4}$	71.71
1	6.25	$9.6 \cdot 10^{-4}$	75.2
1.2	6.25	$1.33 \cdot 10^{-3}$	77.78

При изменении массы не изменяется $x_{\text{уст}}$. 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.

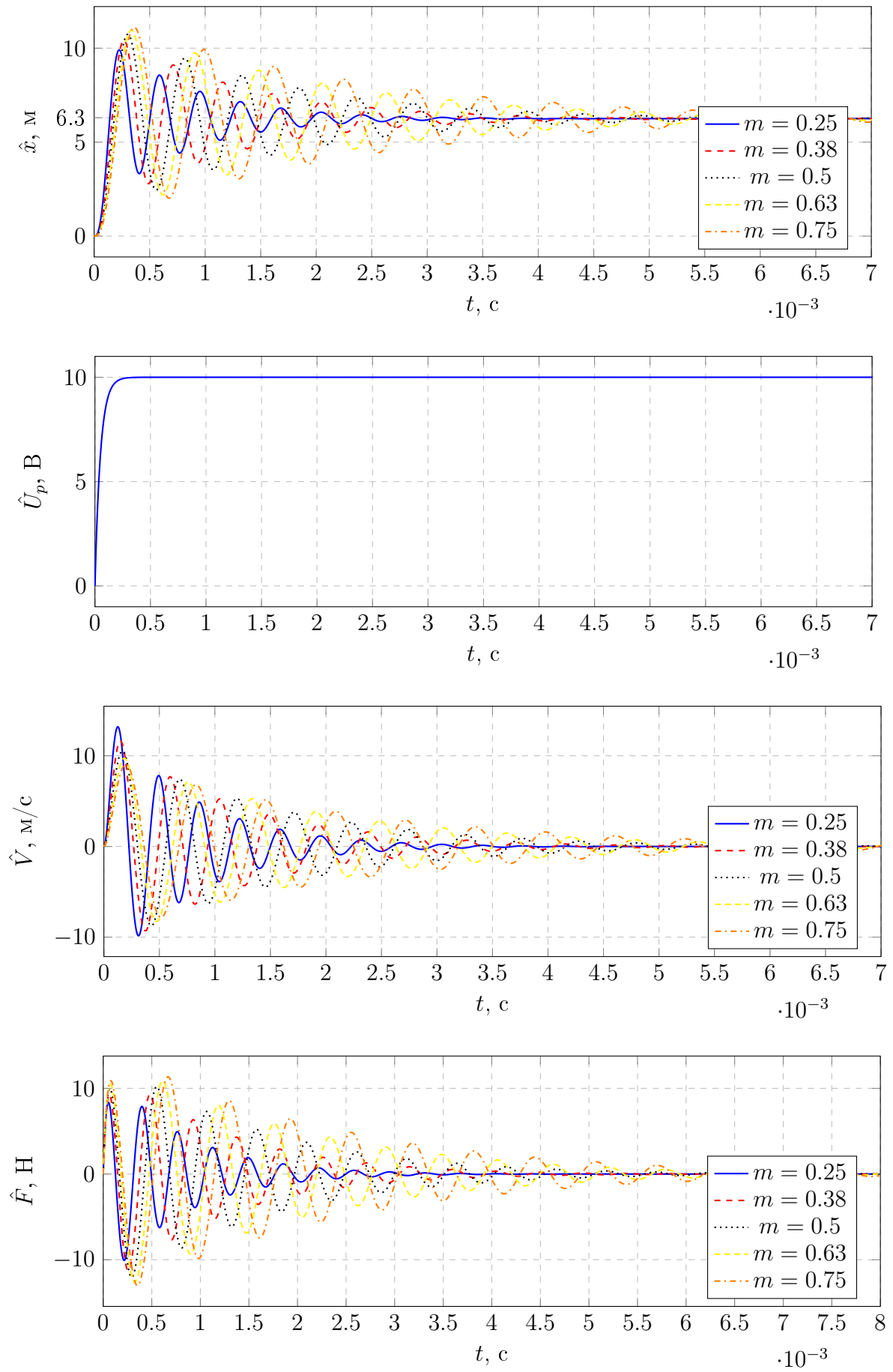


Рисунок 4 – Влияние массы m на качество переходных процессов

3 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 $t_{\text{п}}$, и установившегося значения выходного сигнала $x_{\text{уст}}$. Полученные значения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные о переходных процессах при изменении времени T_u

T_u	$x_{\text{уст}}$	$t_{\text{п}}$	σ
$5 \cdot 10^{-5}$	6.25	$8.4 \cdot 10^{-4}$	71.71
$1 \cdot 10^{-4}$	6.25	$1.6 \cdot 10^{-4}$	49.92
$2 \cdot 10^{-4}$	6.25	$2 \cdot 10^{-4}$	20.35
$3 \cdot 10^{-4}$	6.25	$2.3 \cdot 10^{-4}$	9.53

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 .

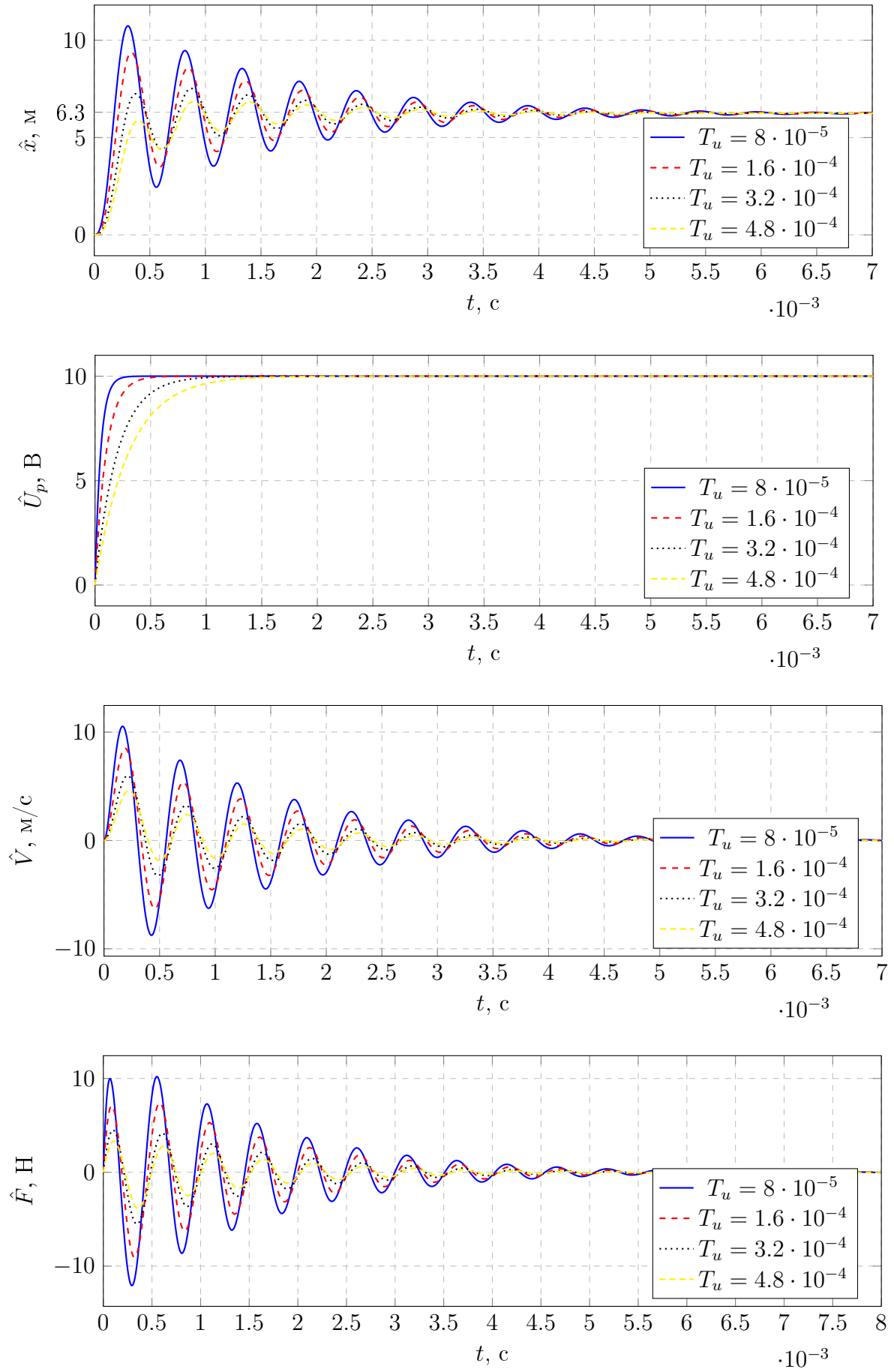


Рисунок 5 – Влияние времени T_u на качество переходных процессов

4 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 $F_B = 100$. На рисунке 6 представлены полученные в результате математического моделирования переходные процессы при различных C_p .

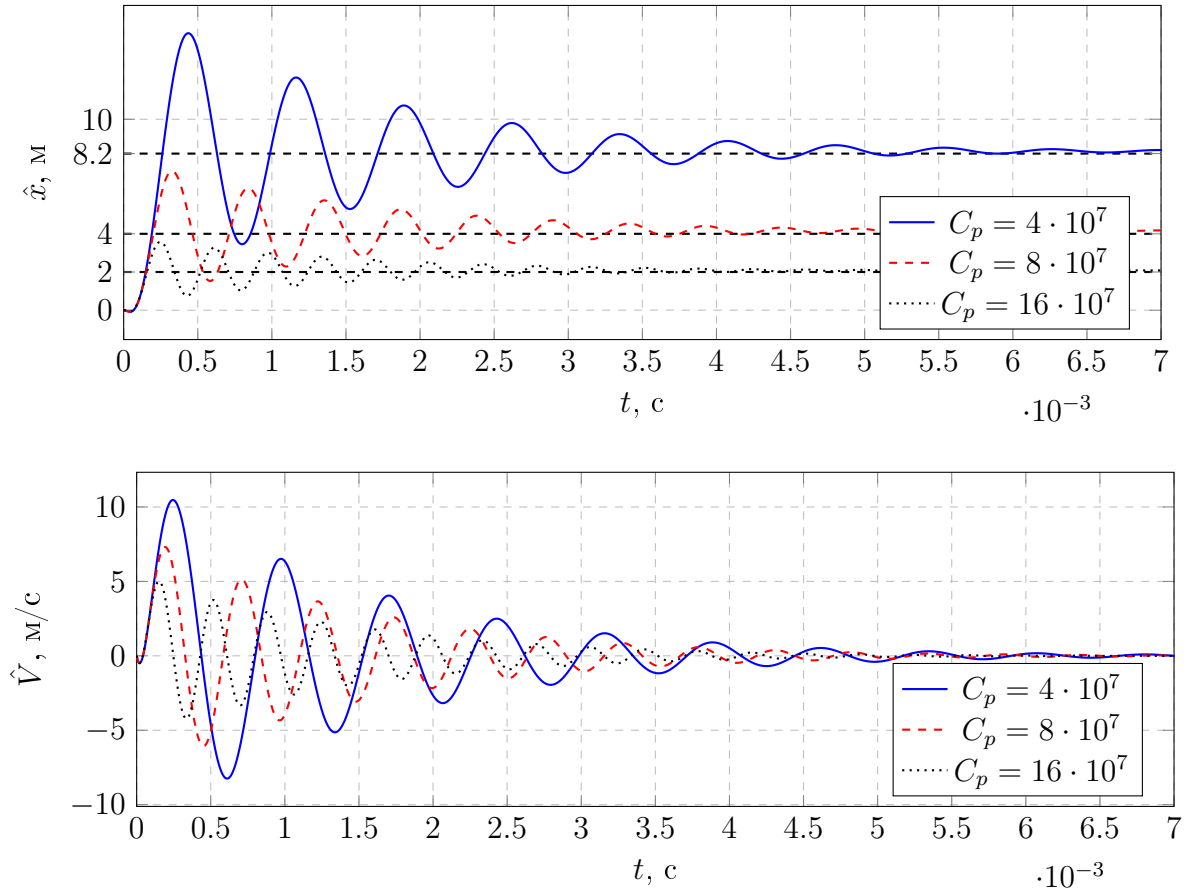


Рисунок 6 – Переходные процессы в ПД при различных C_p и $U = 0$

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.

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 преследуется на рисунке 5.

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