



Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени.  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Н. Э. БАУМАНА

Факультет: Информатики и систем управления  
Кафедра: Проектирование и технология производства электронной аппаратуры (ИУ4)

---

## ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

« Исследование динамики цифровых  
моделей следящих приводов  
координатных систем сборочных  
автоматов и промышленных роботов с  
ЧПУ »

По курсу: Основы автоматизации производства электронных средств

Студент: Болдырев М.Д. ИУ4-73  
(фамилия, инициалы) (индекс группы)

Руководитель: Иванов Ю.В.  
(фамилия, инициалы)

Вариант М8

Москва  
2015

## Содержание

Исходные данные.....	3
1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ЦМ СЛПР .....	4
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА.....	7
3. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА .....	9

## Исходные данные

**Исходными данными** для расчета являются структурная схема (рис. 1), параметры звеньев структурной схемы, а также накладываемые на них условия. Параметры звеньев схемы представлены в таблице 1.1.

Таблица 1 - Параметры звеньев

№ звена	Параметры звена
7	$K_L = 1$ $T_L = 2.2 \cdot 10^{-4}$
8	$K_X = 4.7 \cdot 10^{-4}$ $\xi_X = 0.2$ $T_X = 7 \cdot 10^{-4}$
9	$X_1 = \pm 10^{-3}$ $X_2 = \pm 0.12$ $Y = \pm 237$
10	$K_{ГП1} = 3508$ $K_{ГП2} = 615.6$
15	19300
18	$1.56 \cdot 10^{-3}$
22	0.28
27	65
33	0.00288
36	0.1
37	0.002

Кроме того необходимо исследовать работу схемы при  $T_{X1} = 1.1 \cdot 10^{-3}$ ;  $T_X = 1.2 \cdot 10^{-3}$ .

### Требования к следящему приводу:

Обеспечить время переходного процесса при входном воздействии типа «ступенька»

$$T_{\text{пп}} \leq 6,7 \text{ мс.}$$

Обеспечить добротность по скорости  $K_v \geq 2000 \text{ рад/с.}$

Обеспечить отставание системы от вынуждающих гармонических колебаний частотой

$$\omega_0 = 1200 \text{ рад/с не более } \varphi \leq \frac{\pi}{2}.$$

Обеспечить перерегулирование  $\sigma \leq 3 \dots 8\%$ .

Обеспечить затухание амплитуды колебаний выходного вала не менее 0,707.

# 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ЦМ СЛПР

Структурная схема линейной ЦМ СЛПР представлена на рисунке 1.

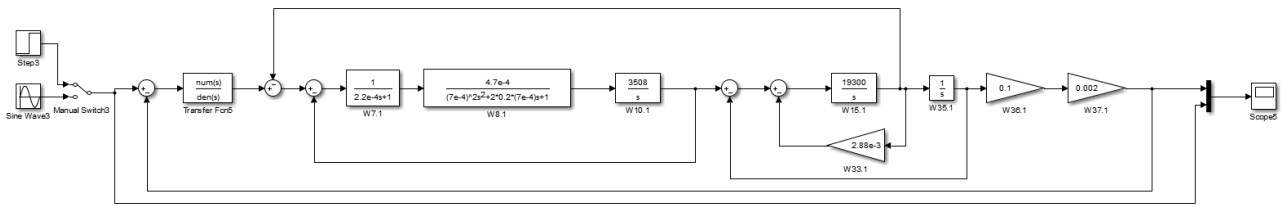


Рисунок 1. Структурная схема линейной ЦМ СЛПР

Передаточные характеристики блоков линейной ЦМ СЛПР представлены ниже:

**Блок 7:**  $W_7(s) = \frac{K_L}{T_L \cdot s + 1}$ ;  $K_L = 1$ ;  $T_L = 2,2 \cdot 10^{-4}(c)$ ;

**Блок 8:**  $W_8(s) = \frac{K_X}{T_X^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi_X \cdot T_X \cdot s + 1}$ ;  $K_X = 4.7 \cdot 10^{-4}$ ;  $T_X = 7 \cdot 10^{-4}(c)$ ;  $\xi_X = 0,2$ ;

**Блок 10:**  $W_{10}(s) = \frac{K_{ГП}}{s}$ ;  $K_{ГП} = 3508$ ;

**Блок 15:**  $W_{15}(s) = \frac{K}{s}$ ;  $k = 1.93 \cdot 10^4$

**Блок 33:**  $W_{33}(s) = 2 \cdot \xi_{ДВ} \cdot T_{ДВ}$ ;  $2 \cdot \xi_{ДВ} \cdot T_{ДВ} = 0.00288$ ;

**Блок 34:**  $W_{34}(s) = \frac{1}{s}$ .

**Блок 36:**  $K = 0.1$

**Блок 37:**  $W_{37}(s) = K$   $K = 0.002$

Для свёртывания блоков ЦМ неизменяемой части СЛПР в один, воспользуемся пакетом MATLAB для преобразований исходных блоков и получения передаточной функции системы. Полученная передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W(s) = \frac{4.1954e+10}{(s+4546)(s+0.5832)(s^2 + 56.86s + 4.688e04)(s^2 + 583s + 2.021e06)}$$

Таким образом, неизменяемая часть линейной системы может быть представлена в виде последовательности 2-х апериодических и 2-х колебательных звеньев.

На рисунке 2 приведена реакция системы без корректирующего устройства на единичное ступенчатое воздействие.

На рисунке 3 показаны ЛАФЧХ системы без корректирующего устройства.

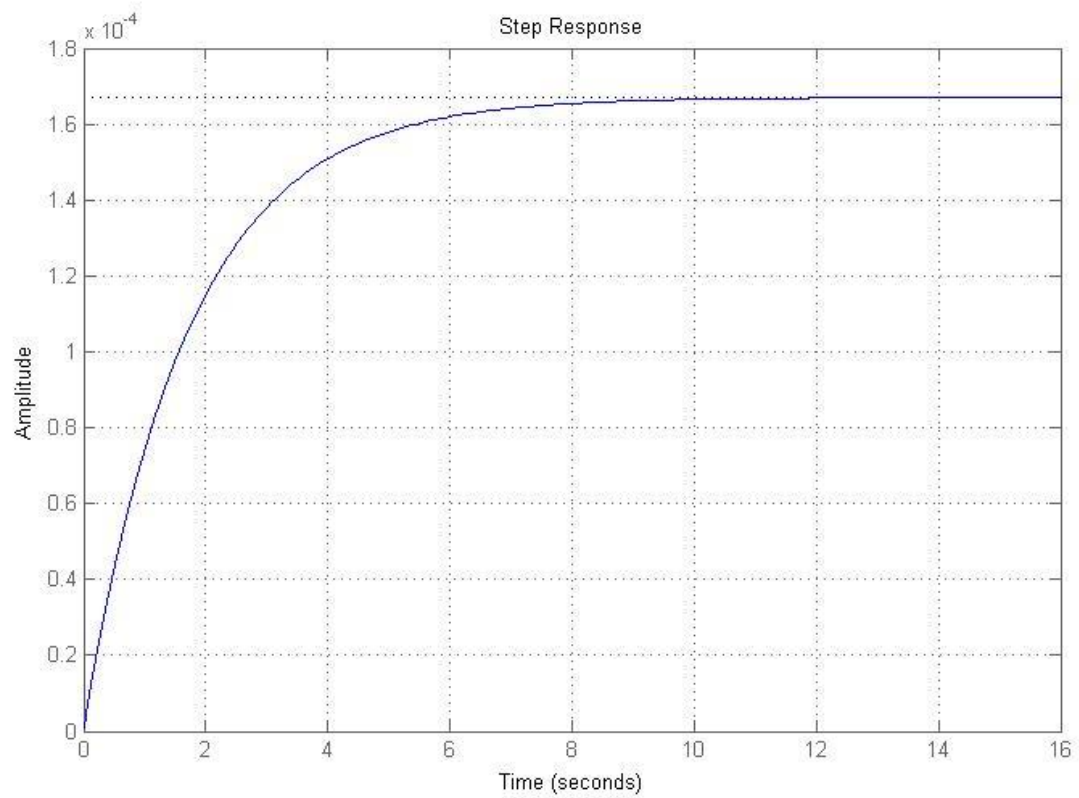


Рисунок 2. Реакция нескорректированной системы на единичное ступенчатое воздействие.

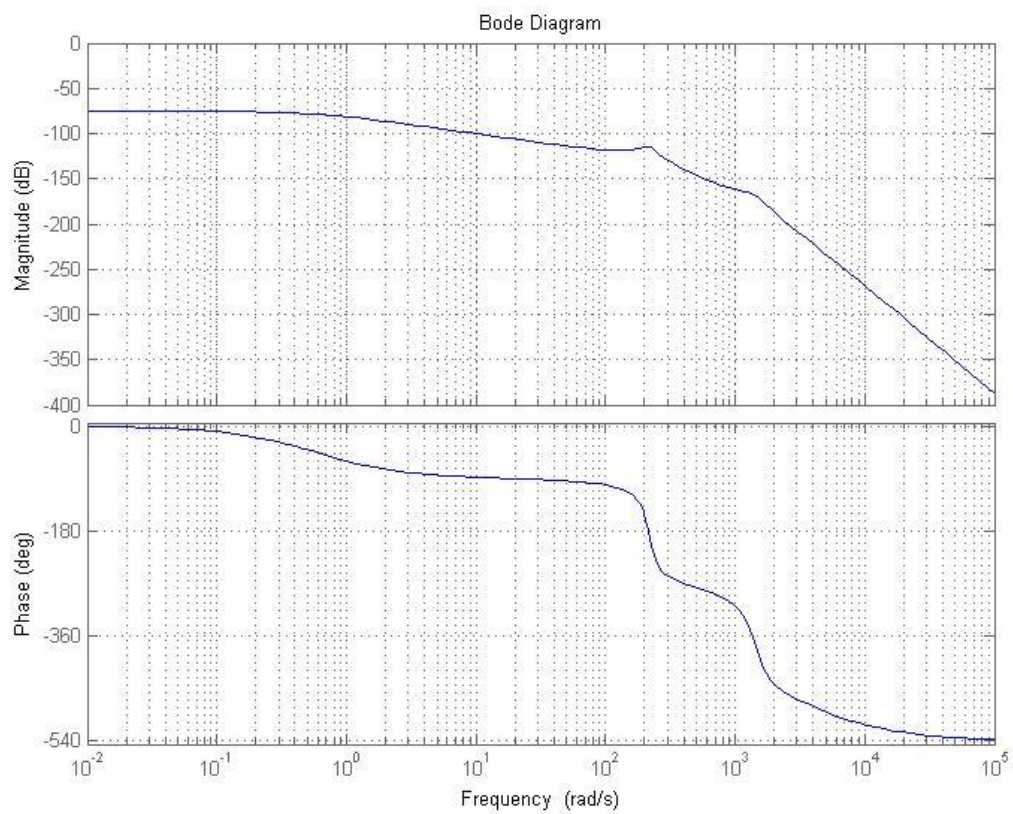


Рисунок 3. ЛАФЧХ нескорректированной системы.

Анализ переходного процесса нескорректированной линейной ЦМ СЛПР КС АТО (рис. 2) показывает, что нескорректированная линейная ЦМ СЛПР не может обеспечить выполнение требований ТЗ по быстродействию. Очевидна необходимость проведения коррекции СЛПР. Схема установки последовательной коррекции СЛПР приведена на рисунке 4.

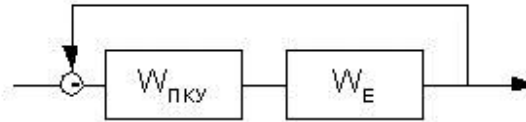


Рисунок 4. Схема установки ПКУ

Достижение требуемых характеристик переходного процесса может быть обеспечено путём введения ПКУ. Для этого строим  $L_{\text{ж}}(\omega)$ . Определим параметры желаемой ЛАЧХ.

Из ТЗ известно, что

$$T_{\text{ПП}} = T_{\text{ж}} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}, \quad \sigma_{\text{ж}} = (3..8)$$

$$\text{Откуда } \omega_{\text{ж}} = \frac{2\pi}{T_{\text{ж}}} = 937,79 \text{ рад/с}; \quad \lg(\omega_{\text{ж}}) = 2.97$$

Определим граничные частоты среднечастотного участка ЛАЧХ:

$$\omega_{\text{н}} = (0.14..0.18)\omega_{\text{ж}} \quad \omega_{\text{н}} = 0.16 \cdot 937,79 = 150,064 \text{ 1/с}; \quad \lg(\omega_{\text{н}}) = 2.303$$

$$\omega_{\text{в}} = (6..7)\omega_{\text{ж}}, \quad \omega_{\text{в}} = 6,5 \cdot 937,79 = 6095,64 \text{ 1/с}; \quad \lg(\omega_{\text{в}}) = 3,79$$

Среднечастотный участок ЛАЧХ задаётся  $\omega_{\text{ж}}$ ,  $\omega_{\text{н}}$ ,  $\omega_{\text{в}}$  и углом наклона 20 Дб/дек.

По этим значениям строится среднечастотная часть желаемой ЛАЧХ [ $L_{\text{ж}}(\omega)$ ].  $L_{\text{ПКУ}}(\omega)$  определяется методом графического вычитания. Графики ЛАФЧХ желаемой и неизменяемой системы, а также  $L_{\text{ПКУ}}(\omega)$  представлены на рисунке 5.

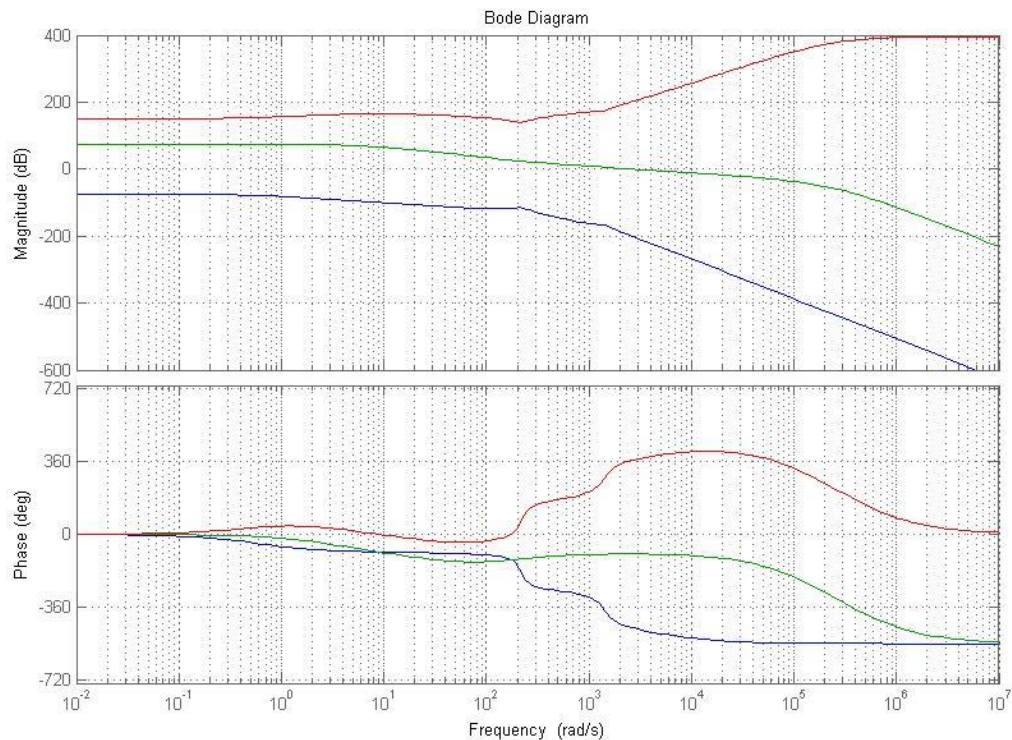


Рисунок 5. ЛАФЧХ СЛПР

Передаточная функция для ПКУ будет следующей:

$$W_{\text{пкУ}} = \frac{6.4571\text{e}19 (s+175.9) (s+4546) (s+0.5832) (s^2 + 56.86s + 4.688\text{e}04) (s^2 + 583s + 2.021\text{e}06)}{(s+3.162) (s+25.12) (s+1\text{e}05) (s+1.585\text{e}05) (s+2.512\text{e}05) (s+3.981\text{e}05) (s+6.31\text{e}05)}$$

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА

Для исследования динамических свойств модели опять рассмотрим ее реакцию на входное воздействие типа «ступенька» с амплитудой 1 и гармонический сигнал частотой 1200 рад/с и амплитудой 1. На рисунке 6 приведена реакция скорректированной системы на ступенчатое входное воздействие.

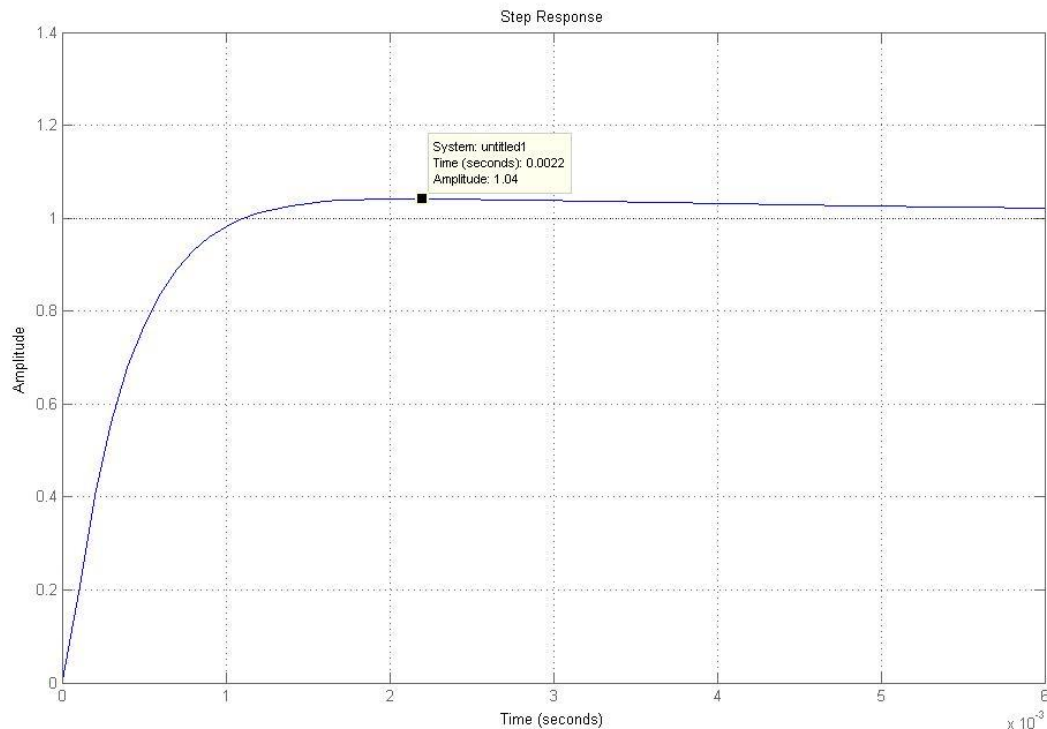


Рисунок 6. Реакция скорректированной линейной ЦМ СЛПР на входное ступенчатое воздействие при  $T_x=7 \cdot 10^{-4}$

На рисунке 7 приведена реакция системы на гармоническое входное воздействие. Как видно из рисунка, отставание по фазе от входного сигнала не превышает 90°.

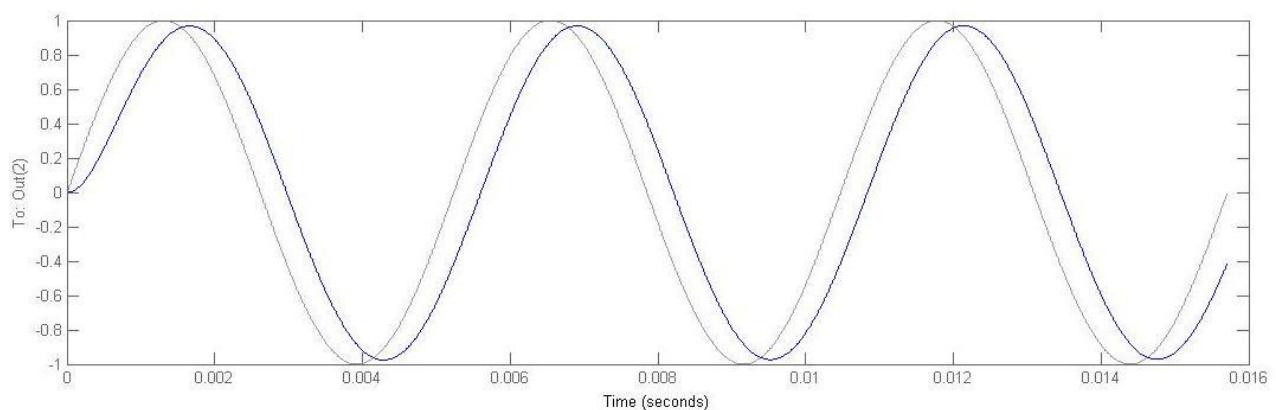


Рисунок 7. Входное воздействие типа «синусоида» с частотой 1200 рад/с и амплитудой 1 и реакция скорректированной линейной ЦМ СЛПР



На рисунке 8 приведена реакция системы на ступенчатое входное воздействие при  $T_x=1.1 \cdot 10^{-3}$ .

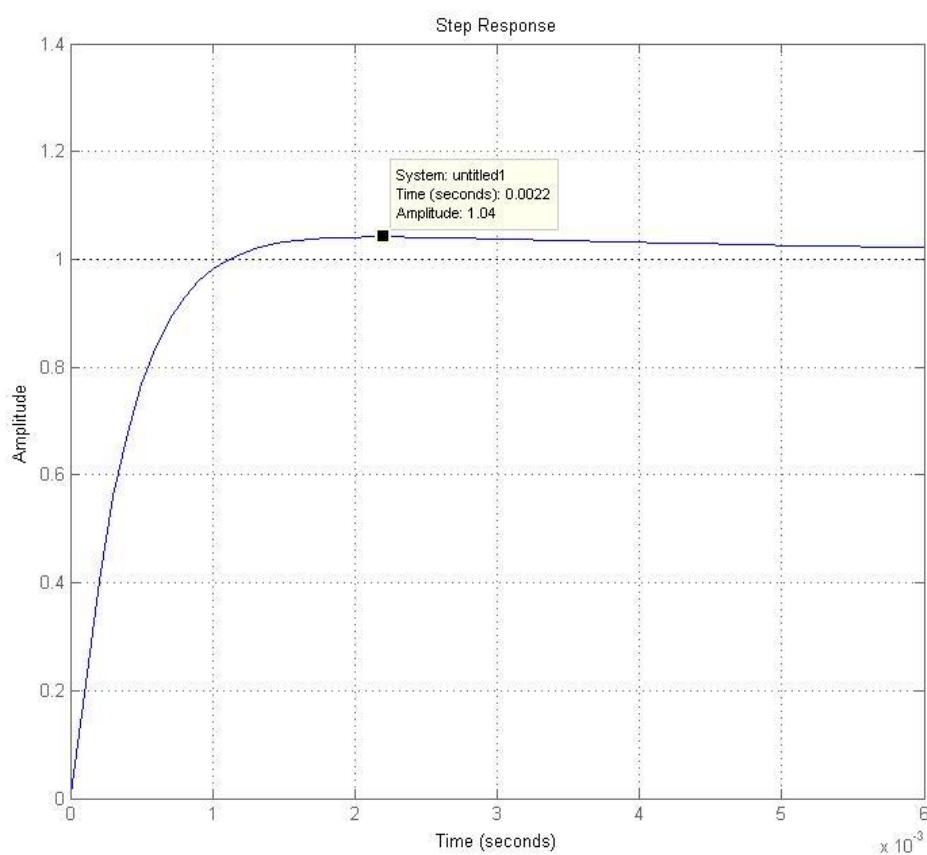


Рисунок 8. Реакция скорректированной линейной ЦМ СЛПР на входное ступенчатое воздействие  $T_x=1.1 \cdot 10^{-3}$

На рисунке 9 приведена реакция системы на ступенчатое входное воздействие при  $T_x=1.2 \cdot 10^{-3}$ .

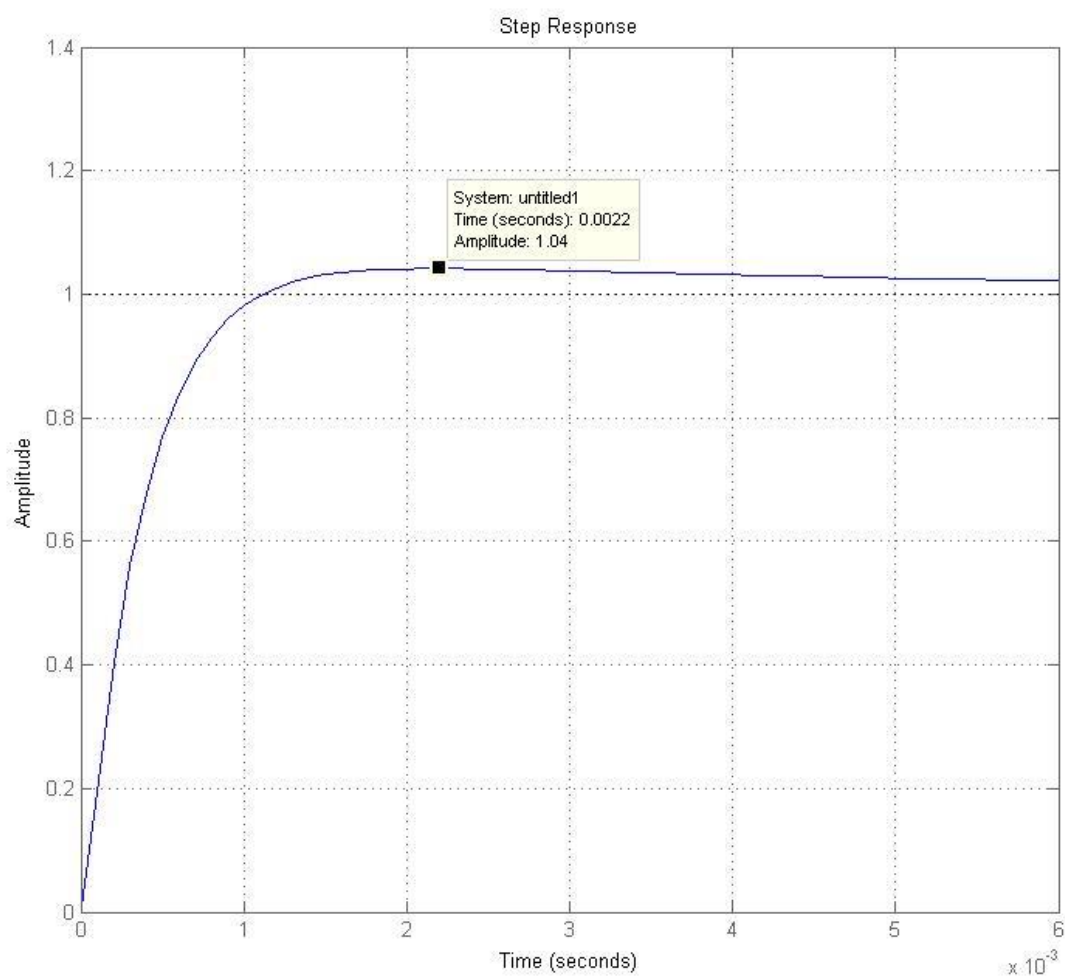


Рисунок 9. Реакция скорректированной линейной ЦМ СЛПР на входное ступенчатое воздействие  $T_x=1.2 \cdot 10^{-3}$

Из рис.6, 7, 8,9,10 видно, что система полностью удовлетворяет ТЗ, так как:

- $T_{пп} = 0,005 \text{ с} = 5 \text{ мс}$ ;
- Перерегулирование  $\sigma < 8 \%$ ;
- $\Delta\varphi \approx 25^\circ$ .

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА

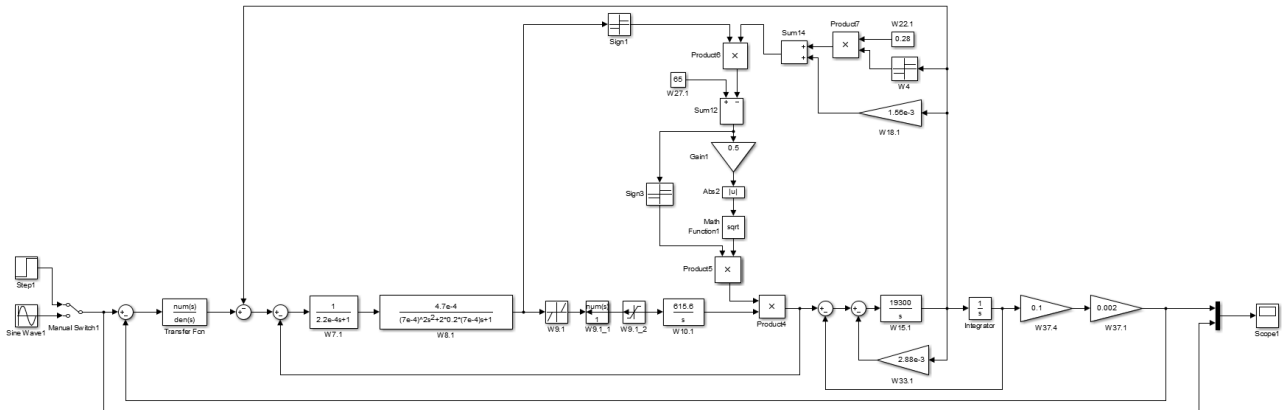


Рисунок 10. Структурная схема нелинейной ЦМ СЛПР

**Блок 7:**  $W_7(s) = \frac{K_L}{T_L \cdot s + 1}$ ;  $K_L = 1$ ;  $T_L = 2,2 \cdot 10^{-4}(c)$ ;

**Блок 8:**  $W_8(s) = \frac{K_X}{T_X^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi_X \cdot T_X \cdot s + 1}$ ;  $K_X = 4,7 \cdot 10^{-4}$ ;  $T_X = 7 \cdot 10^{-4}(c)$ ;  $\xi_X = 0,2$ ;

**Блок 9:**  $X_1 = \pm 10^{-3}$   
 $X_2 = \pm 0.12$   
 $Y = \pm 237$

**Блок 10:**  $W_{10}(s) = \frac{K_{\Gamma\Pi}}{s}$ ;  $K_{\Gamma\Pi} = 615.6$ ;

**Блок 15:**  $W_{15}(s) = \frac{K}{s}$ ;  $k = 1.93 \cdot 10^4$

**Блок 33:**  $W_{33}(s) = 2 \cdot \xi_{\text{ДВ}} \cdot T_{\text{ДВ}}$ ;  $2 \cdot \xi_{\text{ДВ}} \cdot T_{\text{ДВ}} = 0.00288$ ;

**Блок 34:**  $W_{34}(s) = \frac{1}{s}$ .

**Блок 36:**  $K = 0.1$

**Блок 37:**  $W_{36}(s) = K$   $K = 0.002$

За основу ПКУ для нелинейной модели возьмём ПКУ для линейной модели. В ходе анализа недостатков ПКУ линейной модели, а также подбора ряда звеньев экспериментальным путём получаем следующие результаты:

Для  $T_X = 1.1 \cdot 10^{-3}$  на рисунках 11 и 12 соответственно приведены графики реакции системы на ступенчатое воздействие и синусоидальный сигнал:

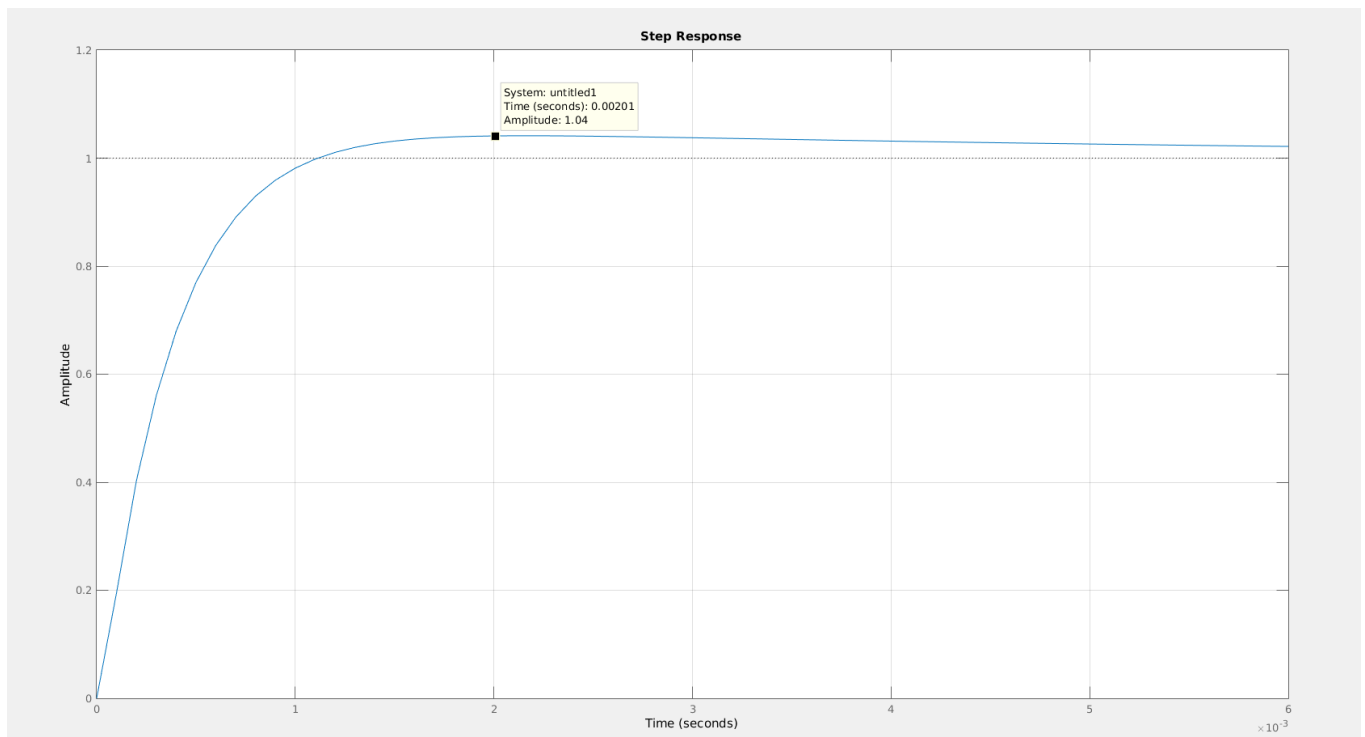


Рисунок 11. Реакция нелинейной системы на ступенчатое воздействие ( $T_x=7 \cdot 10^{-4}$ )

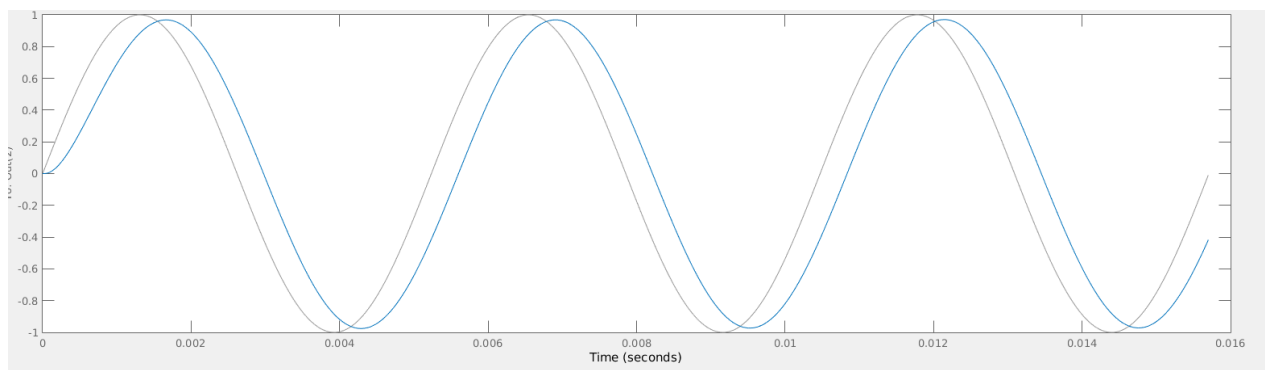


Рисунок 12. Реакция нелинейной системы на синусоидальный сигнал ( $T_x=7 \cdot 10^{-4}$ )

Для  $T_x=1.1 \cdot 10^{-3}$  на рисунках 13 и 14 соответственно приведены графики реакции системы на ступенчатое воздействие и на синусоидальный сигнал:

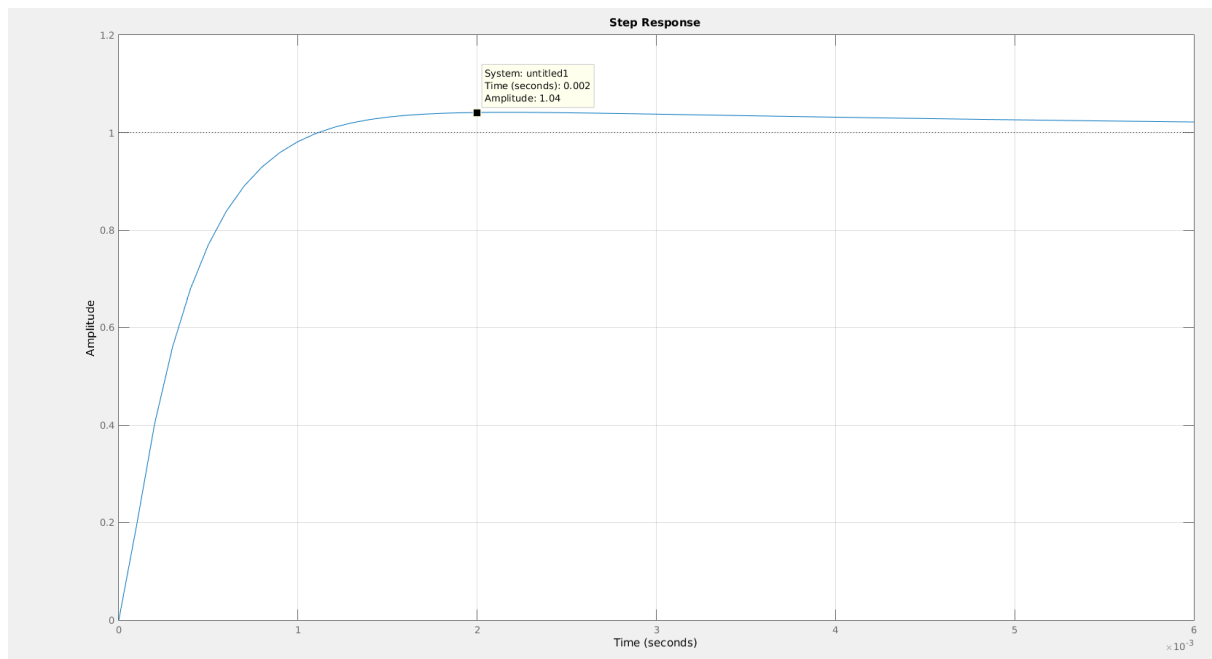


Рисунок 13. Реакция нелинейной системы на ступенчатое воздействие ( $T_x=1.1 \cdot 10^{-3}$ )

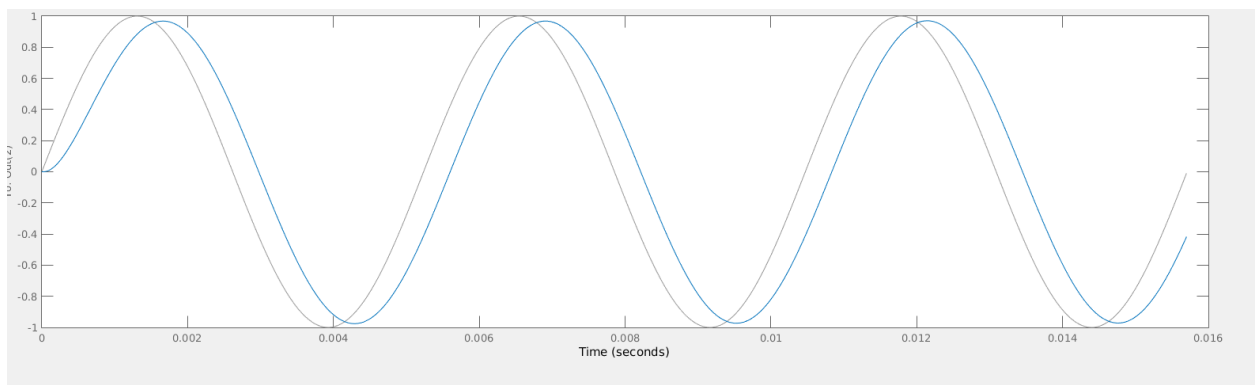


Рисунок 14. Реакция нелинейной системы на синусоидальный сигнал ( $T_x=1.1 \cdot 10^{-3}$ )

Для  $T_x=1.3 \cdot 10^{-3}$  на рисунках 15 и 16 соответственно приведены графики реакции системы на ступенчатое воздействие и синусоидальный сигнал:

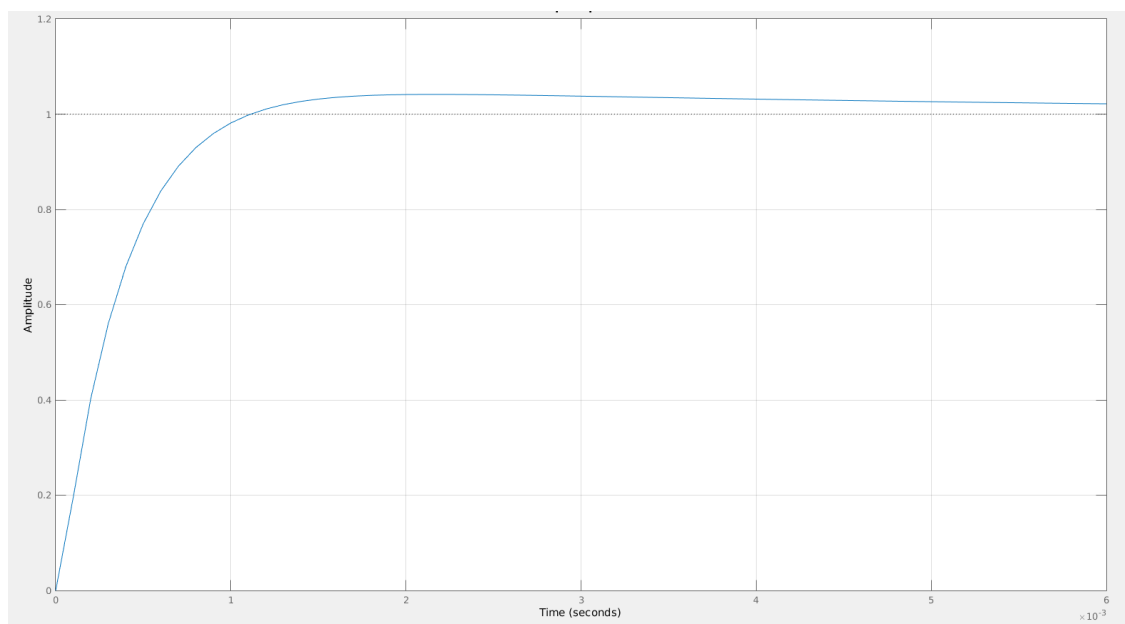


Рисунок 15. Реакция нелинейной системы на ступенчатое воздействие ( $T_x=1.2 \cdot 10^{-3}$ )

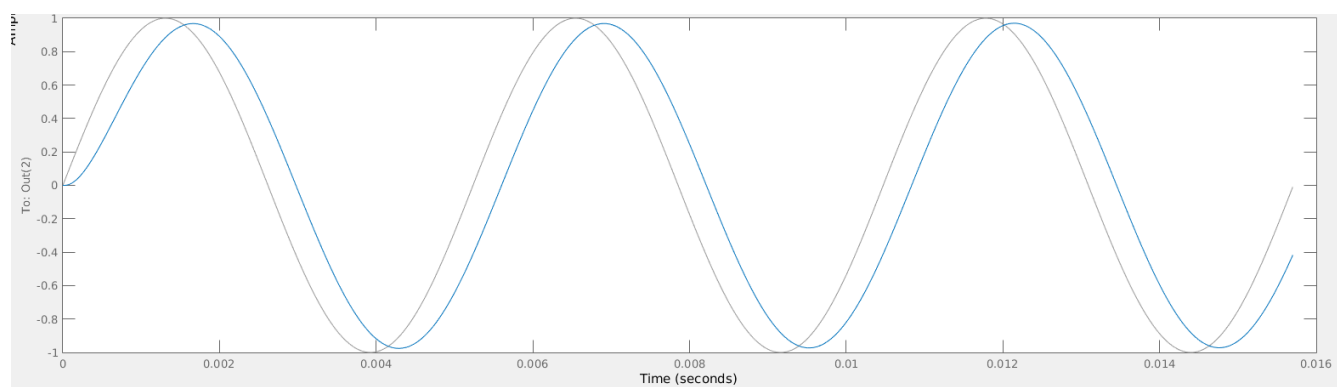


Рисунок 16. Реакция нелинейной системы на синусоидальный сигнал ( $T_x=1.2 \cdot 10^{-3}$ )  
Полученные результаты соответствуют требованиям ТЗ.