

ГУАП

КАФЕДРА № 42

ОТЧЕТ  
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ \_\_\_\_\_  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Т.В. Семененко  
\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

## ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

Исследование типовых динамических звеньев

по курсу: ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № 4329

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Д.С. Шаповалова  
\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2025

## 1. Цель работы:

Изучение и практическое исследование работы аperiodического и периодического звеньев.

## 2. Задание:

Набрать в Simulink модели исследуемых систем, содержащих указанные звенья. Параметры звеньев приведены в соответствии номером варианта. Пример модели системы с аperiodическим звеном представлен на рисунке 1.1

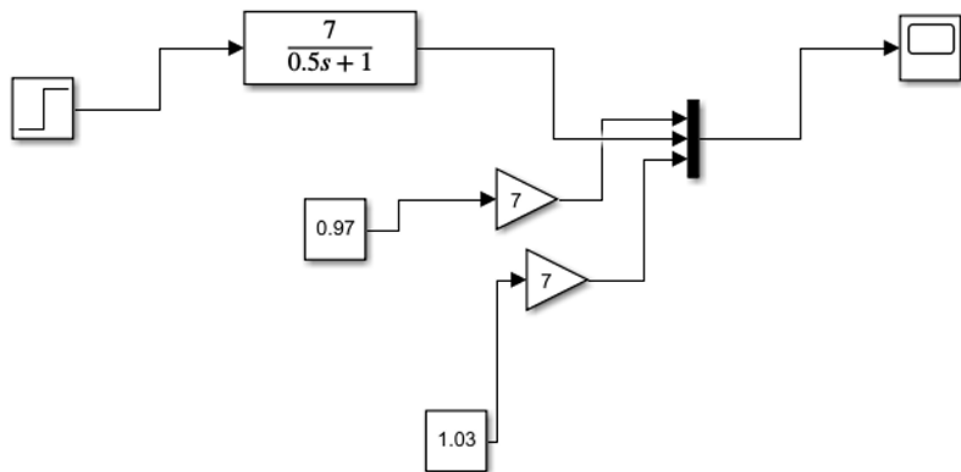


Рисунок 1.1 – Модель исследуемой системы, содержащей аperiodическое звено

№	Аperiodическое		Колебательное		
	$K_1$	$T_1$	$K_2$	$T_2$	$T_3$
17	7	0,3	2	0,1	0,4

Рисунок 1.2 – Параметры звеньев для варианта 17

Подавая на вход единичное скачкообразное воздействие, зарисовать переходные процессы в системах при заданных параметрах.

Поочередно изменяя коэффициенты усиления и постоянные времени, построить новые переходные процессы.

Проанализировать влияние изменения коэффициентов усиления и постоянных времени на каждое типовое звено, дать оценки качества регулирования.

Подавая на вход гармонические воздействия, снять показания для построения ЛАЧХ и ЛФЧХ и построить диаграммы Боде.

Дать оценки качества регулирования.

### 3. Ход работы с системой с апериодическим звеном

Создадим схему:

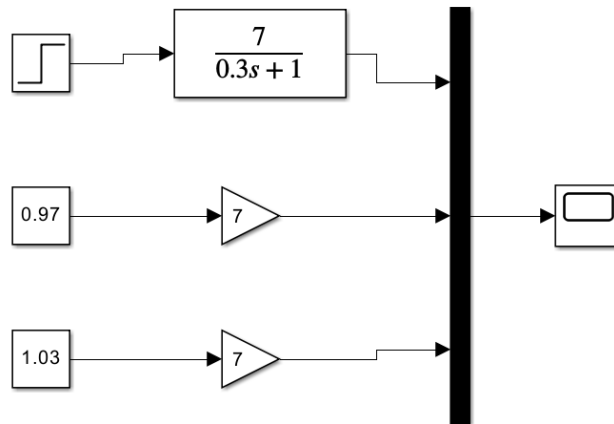


Рисунок 2.1 – Созданная схема

Пустим на вход звена единичную ступенчатую функцию (единичное скачкообразное воздействие) и зарисуем с выхода переходные процессы (реакцию звена на воздействие), при заданных параметрах  $K=7$ ,  $T=0.3$ .

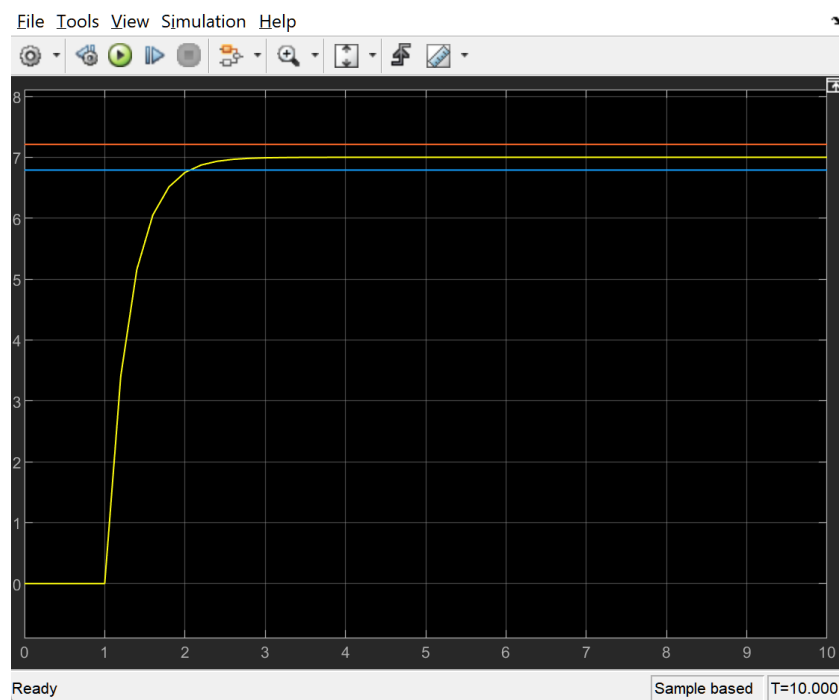


Рисунок 2.2 – Получившийся график, при  $K=7$ ,  $T=0.3$

**Оценим качество регулирования:**

Время регулирования = 3 секунд

Перерегулирование =  $h_{\max} - h_{\text{уст}} / h_{\text{уст}} * 100 = ((7.14 - 7) / 7) * 100 = 14,29$

Число колебаний = 0

Время достижения первого максимума = 3 секунды

Время нарастание переходного процесса = 2 секунды

Частота колебаний =  $\frac{2\pi}{T} = 0$  (у нас нет периода => нет колебаний)

Декремент затухания = 0

Увеличим К 2 раза => 14, соответственно:

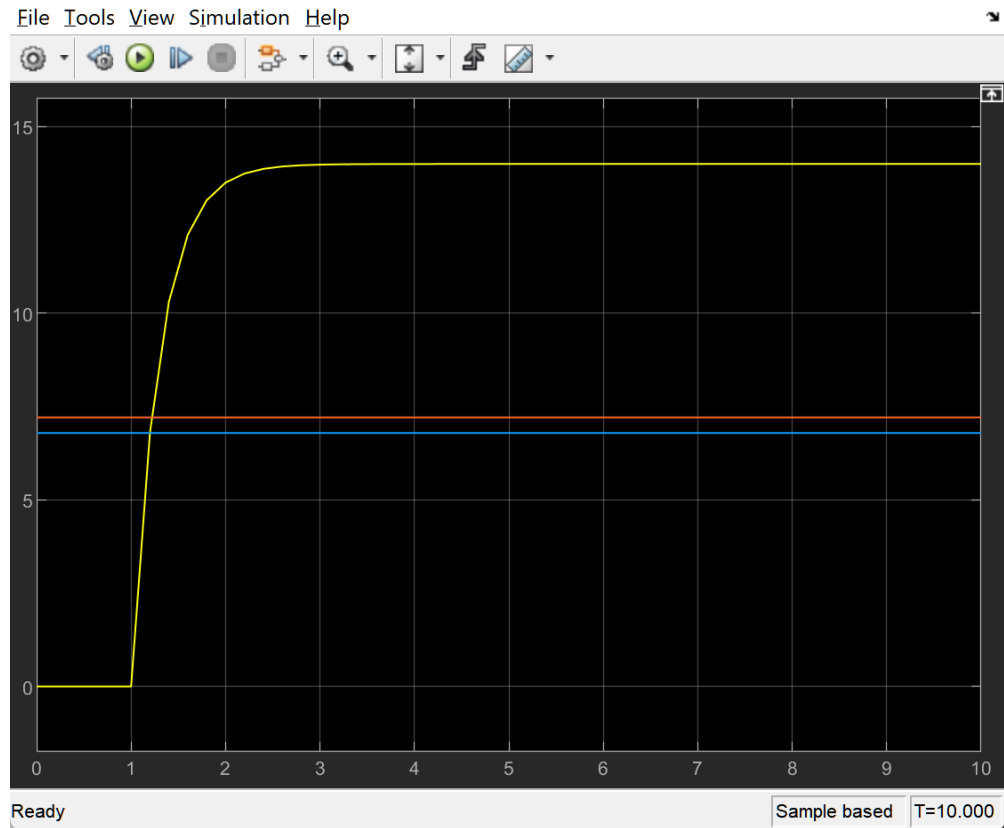


Рисунок 2.3 – Получившийся график при К=14, Т=0.3

Увеличим Т в 2 раза => Т=0.6:

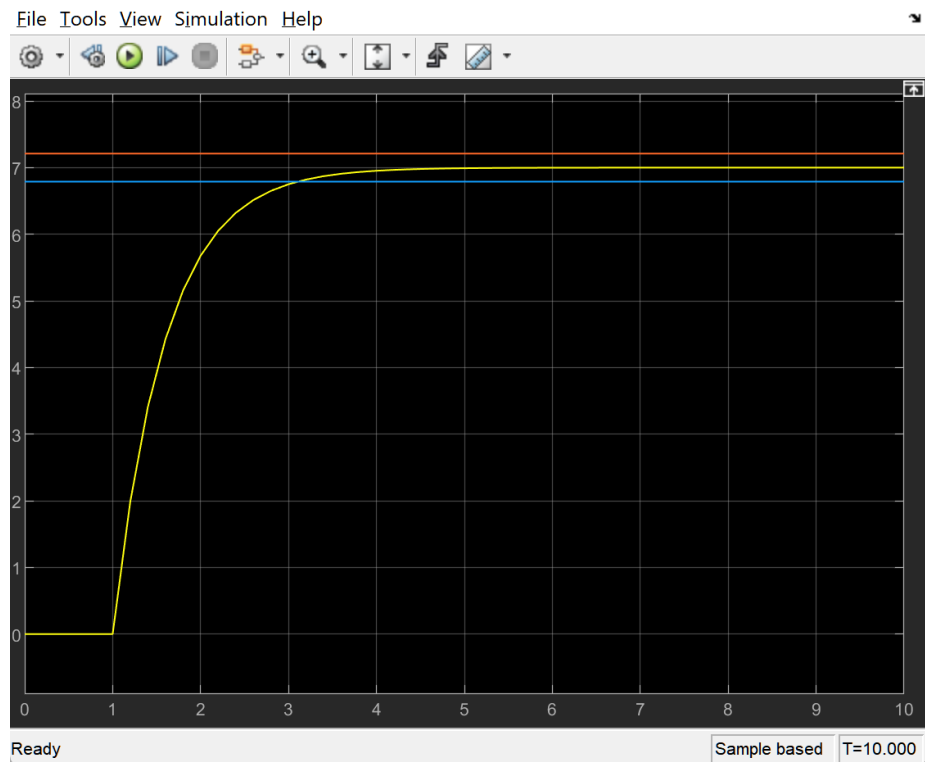


Рисунок 2.4 – Получившийся график, при  $K=7$ ,  $T=0.6$

Из данных графиков мы можем сделать вывод, что чем больше  $K$ , тем усиленнее будет сигнал, доходить до большего значения. А чем больше  $T$ , тем «мягче» он будет возрастать, что напрямую отразится на времени регулирования.

#### 4. Ход работы с системой с колебательным звеном:

Создадим схему:

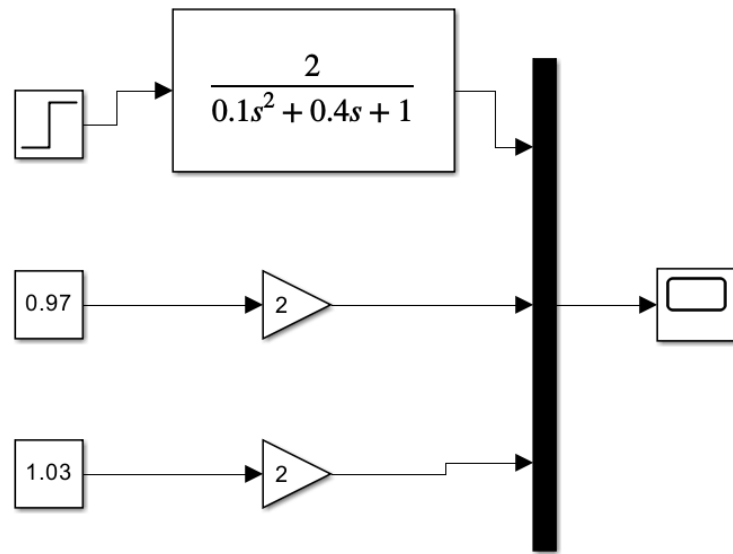


Рисунок 3.1 – Схема с колебательным звеном

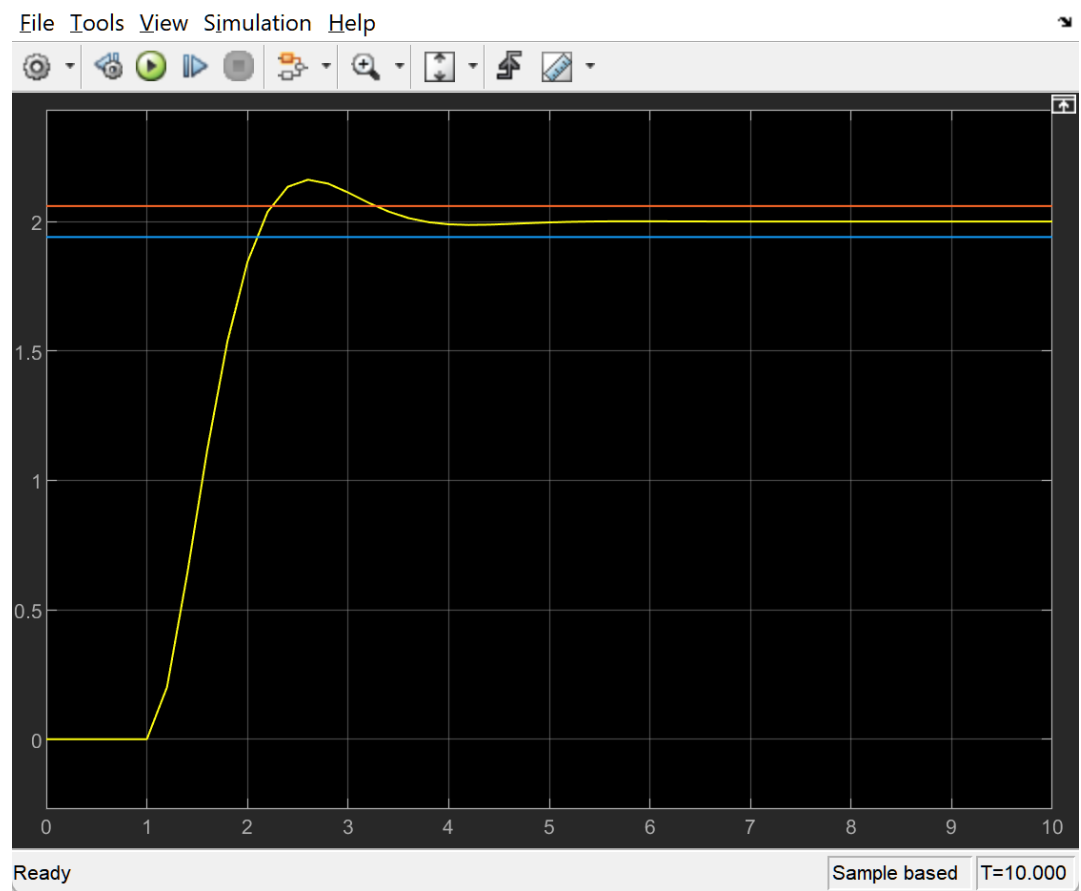


Рисунок 3.2 – График с  $K=2$ ,  $T_2=0.4$ ,  $T_3=0.1$

**Оценка качества регулирования:**

Время регулирования = 2,3 секунды

Перерегулирование =  $h_{\max} - h_{\text{уст}} / h_{\text{уст}} * 100 = ((2,35 - 2) / 2) * 100 = 17,5 \%$

Число колебаний = 1

Время достижения первого максимума = 1,6 секунды

Время нарастание переходного процесса = 1,1 секунды

Частота колебаний =  $\frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1,2} = 5,23$

Декремент затухания =  $\frac{|h_{\max1} - h_{\text{уст}}|}{|h_{\max2} - h_{\text{уст}}|} = \frac{|2,35 - 2|}{|1,99 - 2|} = \frac{2}{0,01} = 200$

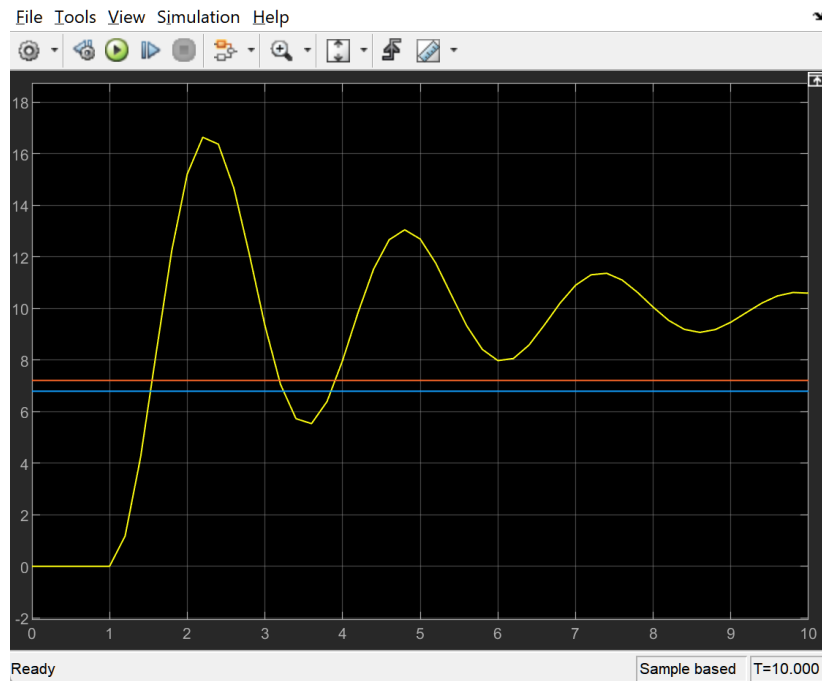


Рисунок 3.3 – График K=10

Как мы видим, график стал сильнее колебаться и стал брать большие значения.

То есть, большее K увеличивает на  $h_{\max}$ ,  $h_{\text{уст}}$ , а значит увеличивает перерегулирование, увеличивает число колебаний, немного уменьшает время достижения первого максимума и время нарастания переходного процесса, декремент затухания стал меньше (отношение модулей двух смежных перерегулирований) =  $16,3 - 10 / 5,5 - 10 * 100 = 6,3 / 4,5 * 100 = 140$

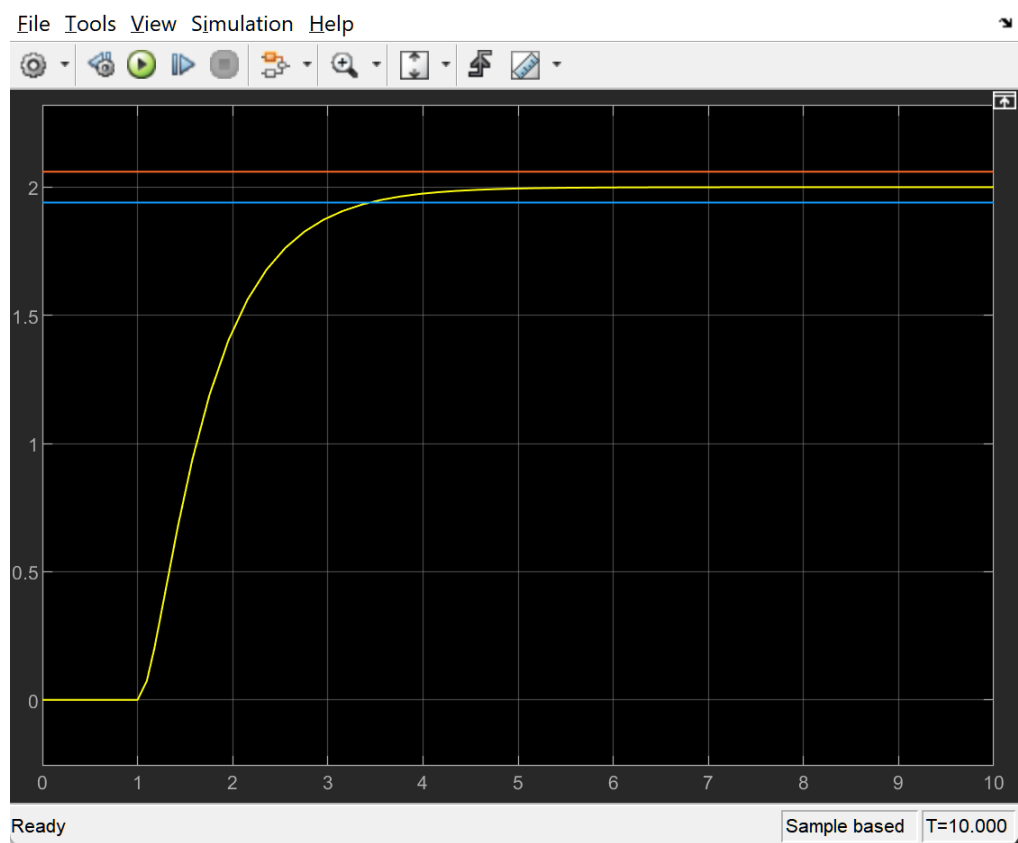


Рисунок 3.4 – График с  $K=2$ ,  $T3=0.8$ ,  $T2=0.1$

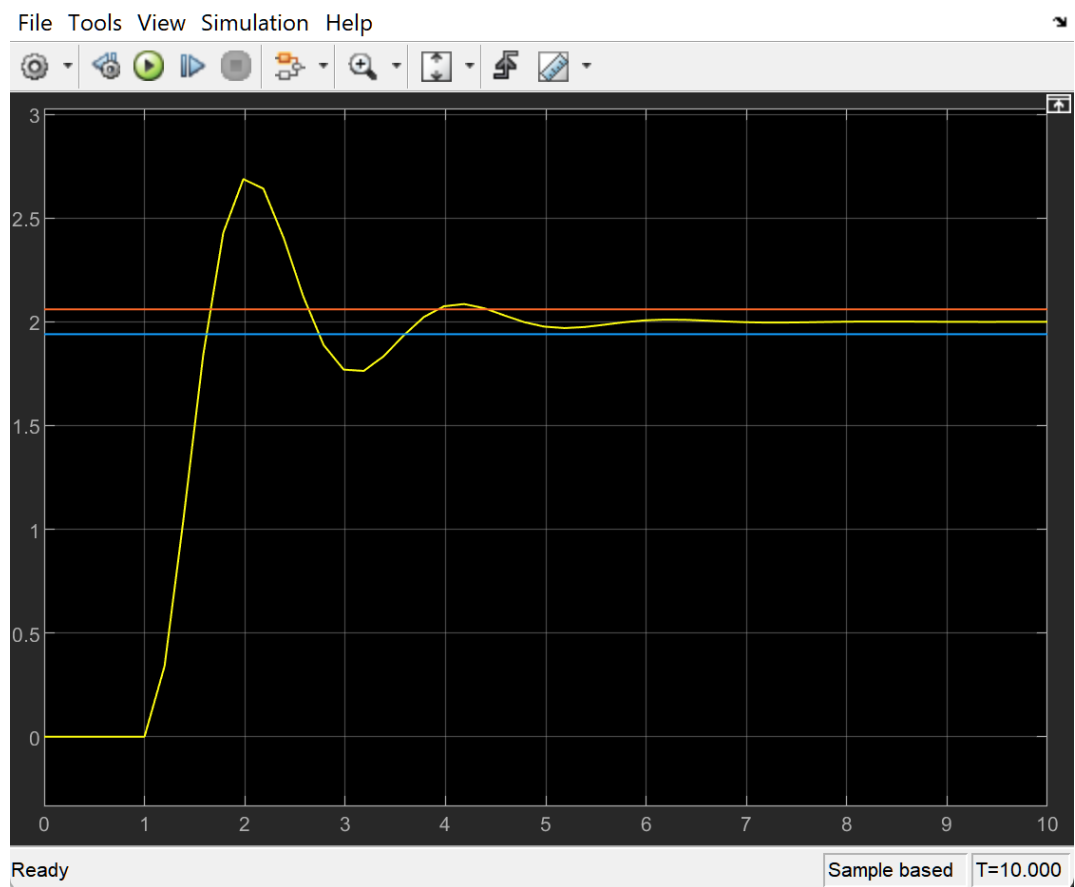


Рисунок 3.5 –  $K=2$ ,  $T3=0.2$ ,  $T2=0.1$



Из графиков на рисунках 3.4-3.5 можно сделать вывод, что увеличение  $T_3$  ведёт к уменьшению колебаний, уменьшению времени нарастания.

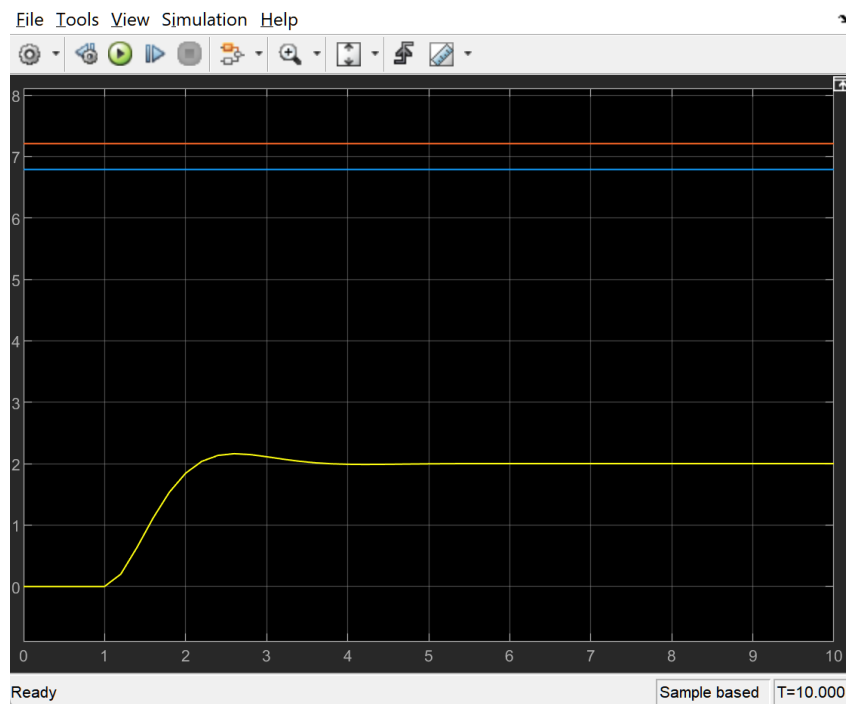


Рисунок 3.6 – График с  $K=2$ ,  $T_3=0.4$ ,  $T_2=1$

Из данного графика можно сделать вывод, что  $T_2$  чем больше, тем менее колебательнее будет сигнал, и тем больше он будет похож на сигнал системы с апериодическим звеном – периода колебаний не наблюдается.

## 5. Ход работы с гармоническими колебаниями:

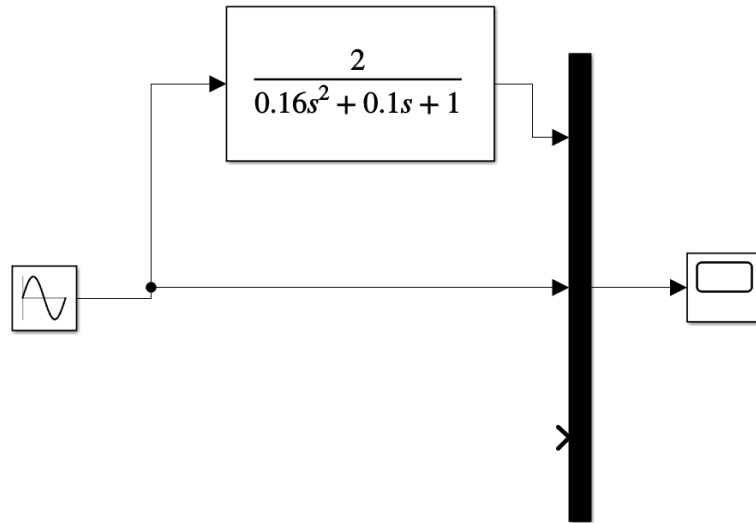


Рисунок 4.1 – Система с гармоническими колебаниями

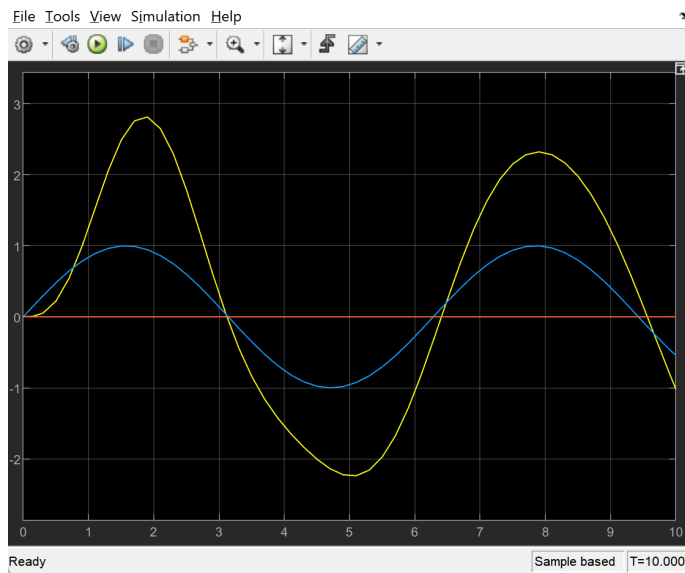


Рисунок 4.2 – Гармонические колебания с заданными параметрами  $K=2$ ,  $T_3=0.4$ ,  
 $T_2=0.1$

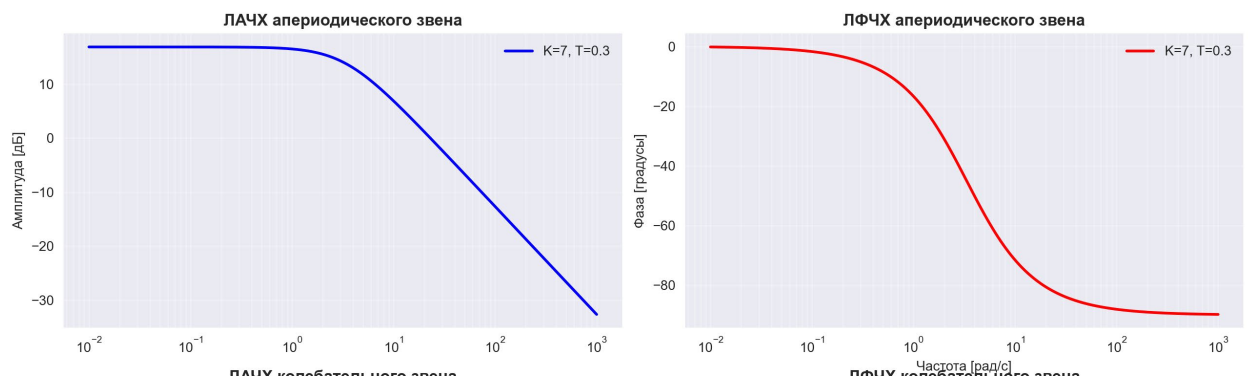


Рисунок 5.1 – Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ для аperiodического звена

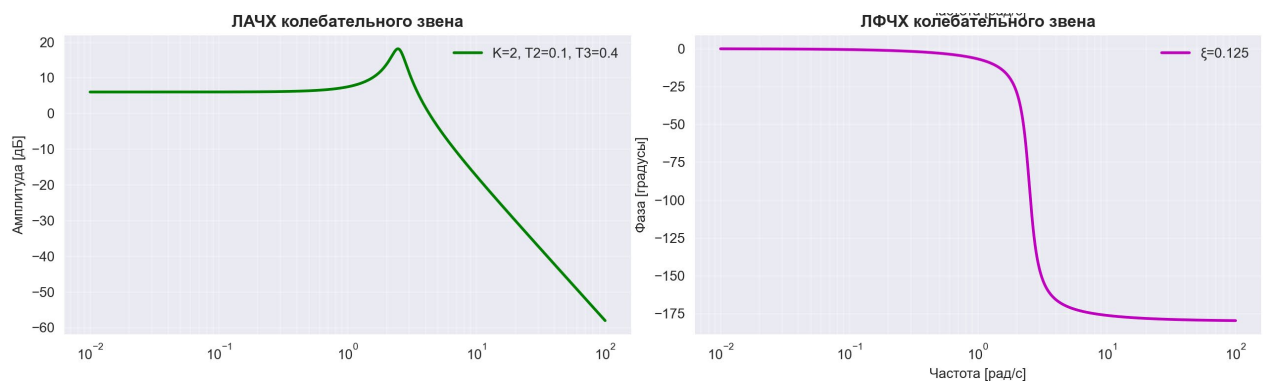


Рисунок 5.2 – Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ для колебательного звена

### Оценки качества регулирования для аperiodического звена:

Показатель колебательности  $M$  (отношение максимального значения к значению при  $\omega=0$ , склонность к колебаниям) = 0

Резонансная (собственная) частота (где максимум усиления)  $\omega_p = 10^0$

Полоса пропускания системы (от  $\omega = 0$ , до  $\omega_{-0}$ ) = от  $10^{-2}$  до  $10^0$

Частота среза (где  $A = 1$ ) = 13

### Оценки качества регулирования для колебательного звена:

Показатель колебательности  $M = 18/5 = 3,6$

Резонансная (собственная) частота  $\omega_p = 4,5$

Полоса пропускания системы = от  $10^{-2}$  до  $10^0$

Частота среза = 8

## 6. Вывод:

В ходе лабораторной работы были исследованы динамические характеристики двух типовых звеньев систем автоматического управления: апериодического и колебательного. Для каждого звена были построены графики переходных процессов и частотные характеристики (ЛАЧХ и ЛФЧХ) при различных значениях параметров.

На основе анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Для апериодического звена:

- Коэффициент усиления  $K$  напрямую влияет на установившееся значение выходного сигнала. При увеличении  $K$  в 2 раза (с 7 до 14) установившееся значение также увеличивается в 2 раза, при этом форма переходного процесса сохраняется.
- Постоянная времени  $T$  определяет быстродействие системы. Увеличение  $T$  с 0.3 до 0.6 приводит к замедлению переходного процесса, время достижения установившегося состояния увеличивается. При уменьшении  $T$  до 0.15 процесс протекает значительно быстрее.
- Переходный процесс имеет плавный экспоненциальный характер без колебаний и перерегулирования.

Для колебательного звена:

- Коэффициент усиления  $K$  влияет на амплитуду колебаний. Увеличение  $K$  с 2 до 10 приводит к значительному росту амплитуды колебаний и увеличению перерегулирования.
- Постоянная времени  $T_2$  оказывает влияние на демпфирование системы. Увеличение  $T_2$  с 0.1 до 1 снижает колебательность процесса, уменьшает перерегулирование и делает переходный процесс более плавным.
- Постоянная времени  $T_3$  влияет на частоту колебаний. Увеличение  $T_3$  с 0.4 до 4 снижает частоту колебаний и увеличивает время переходного процесса.

По частотным характеристикам:

- Апериодическое звено имеет плавный спад АЧХ с наклоном -20 дБ/дек и плавное изменение фазы от  $0^\circ$  до  $-90^\circ$ .
- Колебательное звено характеризуется резким спадом АЧХ с наклоном -40 дБ/дек и наличием резонансного всплеска при определенных частотах, а также резким изменением фазы от  $0^\circ$  до  $-180^\circ$ .

Качество регулирования апериодического звена можно оценить как удовлетворительное при невысоких требованиях к быстродействию, в то время как

колебательное звено требует тщательного подбора параметров для обеспечения приемлемого перерегулирования и времени переходного процесса.

Полученные практические навыки анализа динамических характеристик типовых звеньев могут быть применены при проектировании и настройке систем автоматического управления различного назначения.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Листинг Программы

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import signal

# Настройка стиля графиков
plt.style.use('seaborn-v0_8')
fig, ((ax1, ax2), (ax3, ax4)) = plt.subplots(2, 2, figsize=(15, 10))

#
=====
# 1. АПЕРИОДИЧЕСКОЕ ЗВЕНО (K=7, T=0.3)
#
=====
K_aper = 7
T_aper = 0.3

# Создаем передаточную функцию:  $W(s) = K / (T*s + 1)$ 
num_aper = [K_aper]
den_aper = [T_aper, 1]
system_aper = signal.TransferFunction(num_aper, den_aper)

# Диапазон частот для построения
w_aper = np.logspace(-2, 3, 1000) # от 0.01 до 1000 рад/с

# Вычисляем АЧХ и ФЧХ
w_aper, mag_aper, phase_aper = signal.bode(system_aper, w_aper)

# ЛАЧХ
ax1.semilogx(w_aper, mag_aper, 'b', linewidth=2, label=f'K={K_aper}, T={T_aper}')
ax1.set_title('ЛАЧХ апериодического звена', fontsize=12, fontweight='bold')
ax1.set_ylabel('Амплитуда [дБ]', fontsize=10)
ax1.grid(True, which='both', alpha=0.3)
ax1.legend()

# ЛФЧХ
ax2.semilogx(w_aper, phase_aper, 'r', linewidth=2, label=f'K={K_aper}, T={T_aper}')
ax2.set_title('ЛФЧХ апериодического звена', fontsize=12, fontweight='bold')
ax2.set_ylabel('Фаза [градусы]', fontsize=10)
ax2.set_xlabel('Частота [рад/с]', fontsize=10)
ax2.grid(True, which='both', alpha=0.3)
ax2.legend()

#
=====
# 2. КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ЗВЕНО (K=2, T2=0.1, T3=0.4)
#
=====
K_osc = 2
T3_osc = 0.4 # T = T3
T2_osc = 0.1
xi_osc = T2_osc / (2 * T3_osc) # коэффициент демпфирования

print(f"Коэффициент демпфирования  $\xi = \{xi\_osc:.3f\}$ ")

# Создаем передаточную функцию:  $W(s) = K / (T^2*s^2 + 2*\xi*T*s + 1)$ 
num_osc = [K_osc]
den_osc = [T3_osc**2, 2*xi_osc*T3_osc, 1]
system_osc = signal.TransferFunction(num_osc, den_osc)
```

```

# Диапазон частот для построения
w_osc = np.logspace(-2, 2, 1000) # от 0.01 до 100 рад/с

# Вычисляем АЧХ и ФЧХ
w_osc, mag_osc, phase_osc = signal.bode(system_osc, w_osc)

# ЛАЧХ
ax3.semilogx(w_osc, mag_osc, 'g', linewidth=2, label=f'K={K_osc},
T2={T2_osc}, T3={T3_osc}')
ax3.set_title('ЛАЧХ колебательного звена', fontsize=12, fontweight='bold')
ax3.set_ylabel('Амплитуда [дБ]', fontsize=10)
ax3.grid(True, which='both', alpha=0.3)
ax3.legend()

# ЛФЧХ
ax4.semilogx(w_osc, phase_osc, 'm', linewidth=2, label=f'ξ={xi_osc:.3f}')
ax4.set_title('ЛФЧХ колебательного звена', fontsize=12, fontweight='bold')
ax4.set_ylabel('Фаза [градусы]', fontsize=10)
ax4.set_xlabel('Частота [рад/с]', fontsize=10)
ax4.grid(True, which='both', alpha=0.3)
ax4.legend()

plt.tight_layout()
plt.show()

#
=====
# 3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ - СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ ПАРАМЕТРОВ
#
=====
print("\n" + "="*60)
print("АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ")
print("="*60)

# Сопрягающие частоты
w_c_aper = 1 / T_aper
w_c_osc = 1 / T3_osc

print(f"Апериодическое звено:")
print(f"  - Сопрягающая частота:  $\omega_c = \{w\_c\_aper:.2f\}$  рад/с")
print(f"  - Установившееся усиление:  $\{20*\text{np.log10}(K\_aper):.1f\}$  дБ")

print(f"\nКолебательное звено:")
print(f"  - Сопрягающая частота:  $\omega_c = \{w\_c\_osc:.2f\}$  рад/с")
print(f"  - Коэффициент демпфирования:  $\xi = \{xi\_osc:.3f\}$ ")
print(f"  - Установившееся усиление:  $\{20*\text{np.log10}(K\_osc):.1f\}$  дБ")

if xi_osc < 0.707:
    print(f"  - Резонансный всплеск: ДА ( $\xi < 0.707$ )")
    # Находим резонансную частоту и амплитуду
    resonance_idx = np.argmax(mag_osc)
    resonance_freq = w_osc[resonance_idx]
    resonance_mag = mag_osc[resonance_idx]
    print(f"  - Резонансная частота:  $\{resonance\_freq:.2f\}$  рад/с")
    print(f"  - Резонансный всплеск:  $\{resonance\_mag:.1f\}$  дБ")
else:
    print(f"  - Резонансный всплеск: НЕТ ( $\xi \geq 0.707$ )")

#
=====
# 4. ПОСТРОЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ГРАФИКОВ ДЛЯ ОТЧЕТА
#

```

```

=====
# График для апериодического звена с разными параметрами
plt.figure(figsize=(12, 5))

# Параметры для сравнения
params_aper = [
    (7, 0.3, 'b', 'K=7, T=0.3 (исходные)'),
    (14, 0.6, 'r', 'K=14, T=0.6 (увеличены)'),
    (3.5, 0.15, 'g', 'K=3.5, T=0.15 (уменьшены)')
]

plt.subplot(1, 2, 1)
for K, T, color, label in params_aper:
    system = signal.TransferFunction([K], [T, 1])
    w, mag, phase = signal.bode(system, np.logspace(-2, 3, 1000))
    plt.semilogx(w, mag, color, linewidth=2, label=label)

plt.title('ЛАЧХ апериодического звена\n(влияние параметров)',
fontweight='bold')
plt.ylabel('Амплитуда [дБ]')
plt.xlabel('Частота [рад/с]')
plt.grid(True, alpha=0.3)
plt.legend()

# График для колебательного звена с разными параметрами
plt.subplot(1, 2, 2)

params_osc = [
    (2, 0.1, 0.4, 'b', 'K=2, T2=0.1, T3=0.4 (исходные)'),
    (10, 0.1, 0.4, 'r', 'K=10, T2=0.1, T3=0.4 (K увеличен)'),
    (2, 0.1, 4.0, 'g', 'K=2, T2=0.1, T3=4.0 (T3 увеличен)')
]

for K, T2, T3, color, label in params_osc:
    xi = T2 / (2 * T3)
    system = signal.TransferFunction([K], [T3**2, 2*xi*T3, 1])
    w, mag, phase = signal.bode(system, np.logspace(-2, 2, 1000))
    plt.semilogx(w, mag, color, linewidth=2, label=label)

plt.title('ЛАЧХ колебательного звена\n(влияние параметров)',
fontweight='bold')
plt.ylabel('Амплитуда [дБ]')
plt.xlabel('Частота [рад/с]')
plt.grid(True, alpha=0.3)
plt.legend()

plt.tight_layout()
plt.show()

```