ГУАП

КАФЕДРА № 42

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

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| канд. техн. наук, доцент |  |  |  | А.В. Аграновский |
| должность, уч. степень, звание |  | подпись, дата |  | инициалы, фамилия |

|  |
| --- |
| ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1 |
| Исследование типовых динамических звеньев |
| по курсу: ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ |
|  |

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| СТУДЕНТ ГР. № | 4329 |  |  |  | Д.С. Шаповалова |
|  |  |  | подпись, дата |  | инициалы, фамилия |

Санкт-Петербург 2025

# 1. Цель работы:

Изучение и практическое исследование работы и характеристик полупроводникового диода.

# 2. Задание:

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

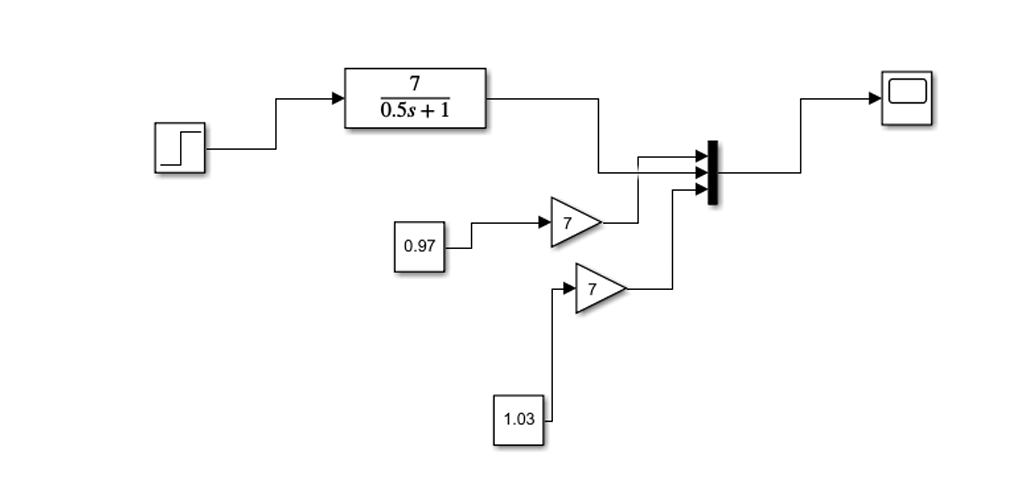


Рисунок 1.1 – Модель исследуемой системы, содержащей апериодическое звено

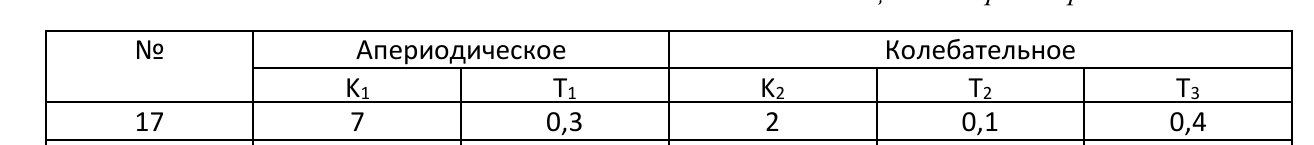


Рисунок 1.2 – Параметры звеньев для варианта 17

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:

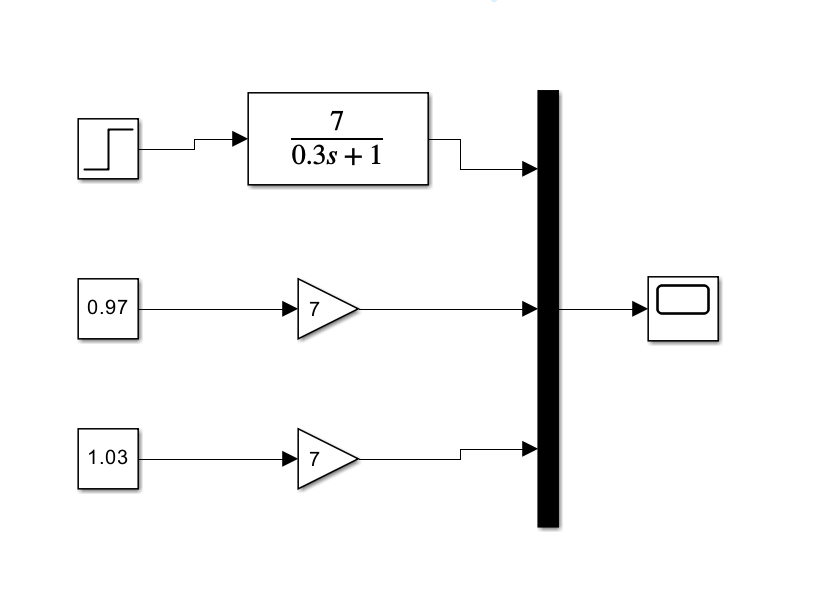


Рисунок 2.1 – Созданная схема

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.

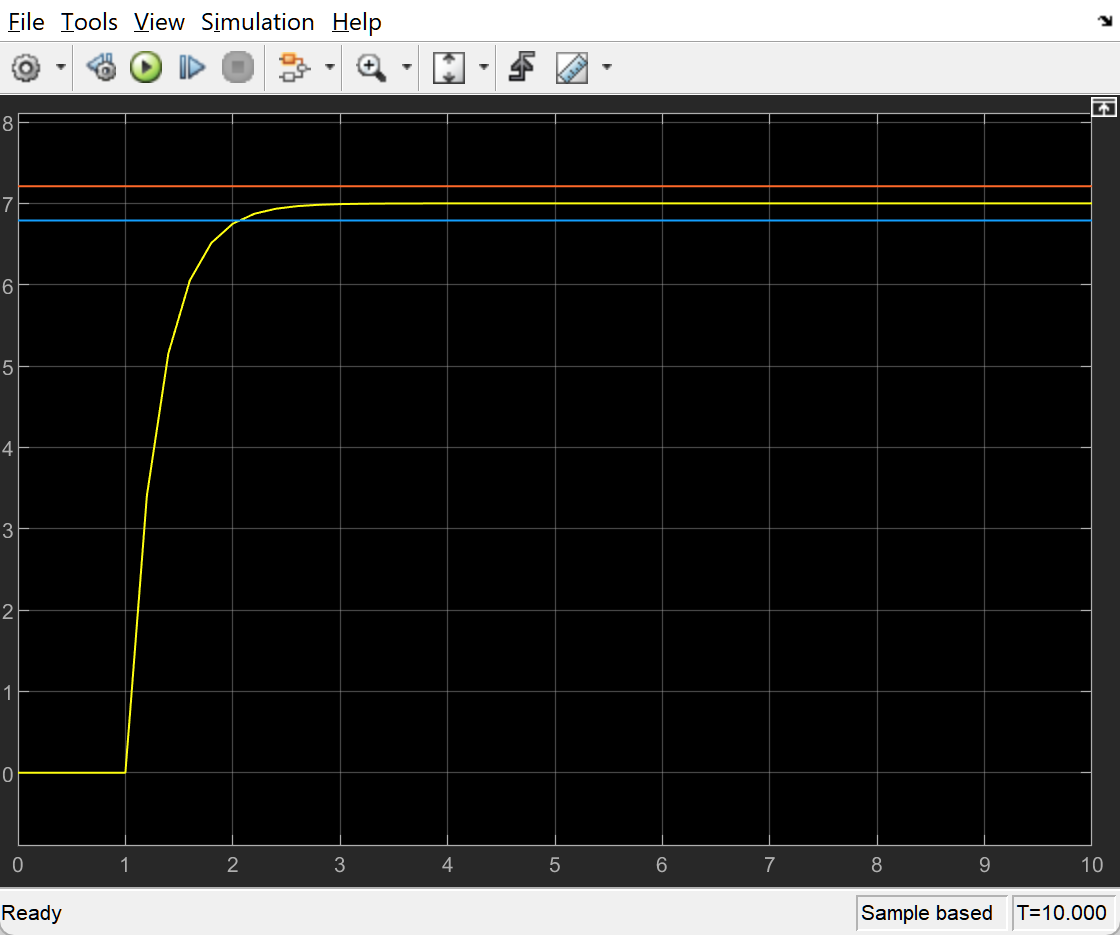


Рисунок 2.2 – Получившийся график, при K=7, T=0.3

**Оценим качество регулирования:**

Время регулирования = 3 секунд

Перерегулирование = h\_max – h\_уст / h\_уст \* 100 = ((7 – 7) / 7 ) \* 100 = 14,29

Число колебаний = 0

Время достижения первого максимума = 3 секунды

Время нарастание переходного процесса = 2 секунды

Частота колебаний = (у нас нет периода => нет колебаний)

Декремент затухания = 0

Увеличим K и Т в 2 раза => 14 и 0.6, соответственно:

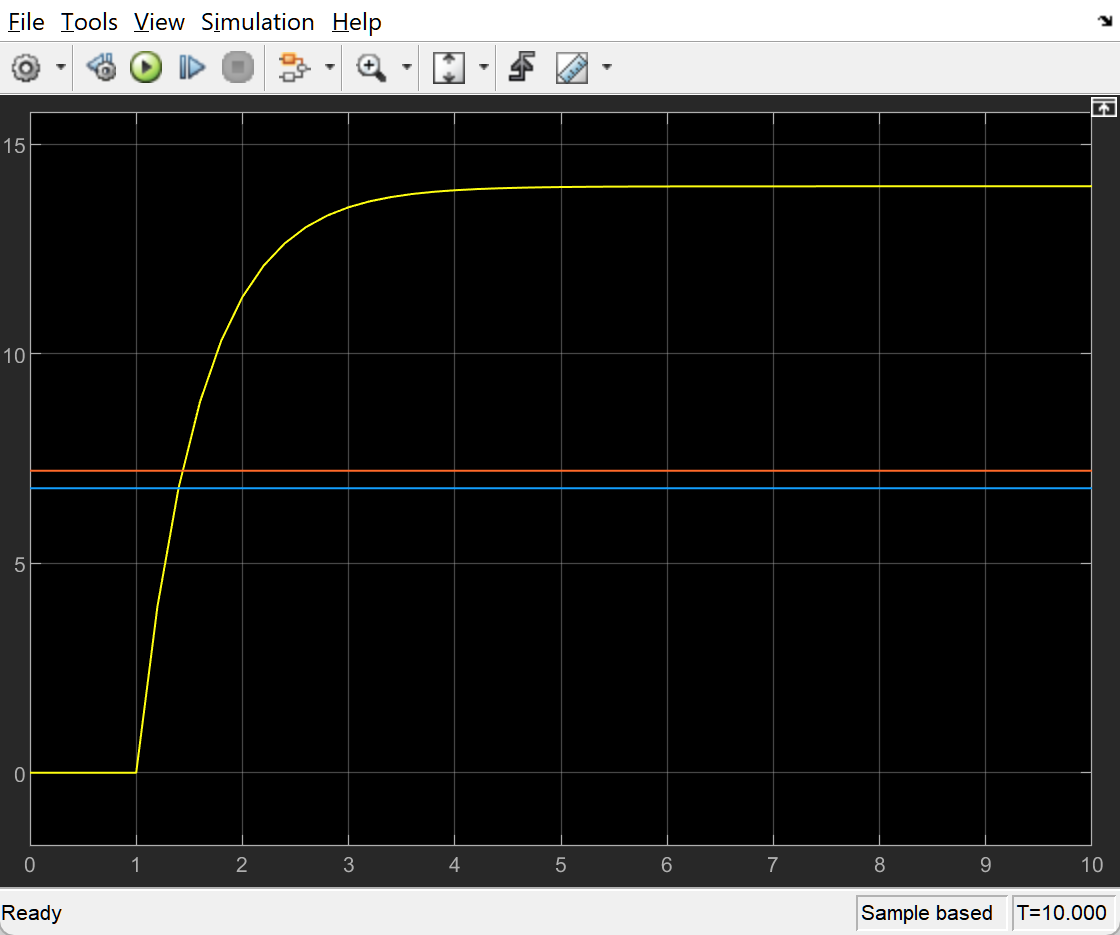


Рисунок 2.3 – Получившийся график при K=14, T=0.6

Уменьшим исходные K и T в 2 раза => K=3.5, T=0.15:

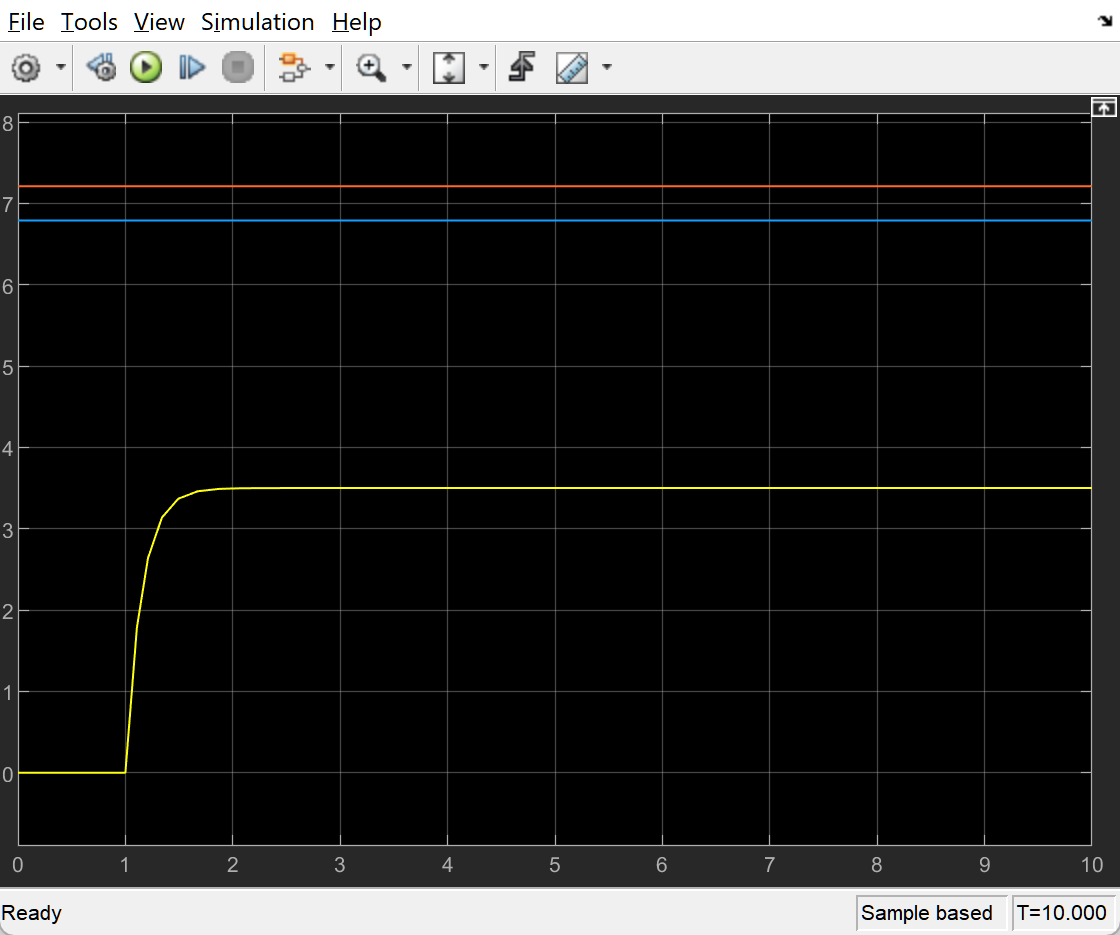


Рисунок 2.4 – Получившийся график, при K=3.5, T=0.15

Из данных графиков мы можем сделать вывод, что чем больше K и T, тем усиленнее будет сигнал, он будет возрастать «мягче» и доходить до большего значения.

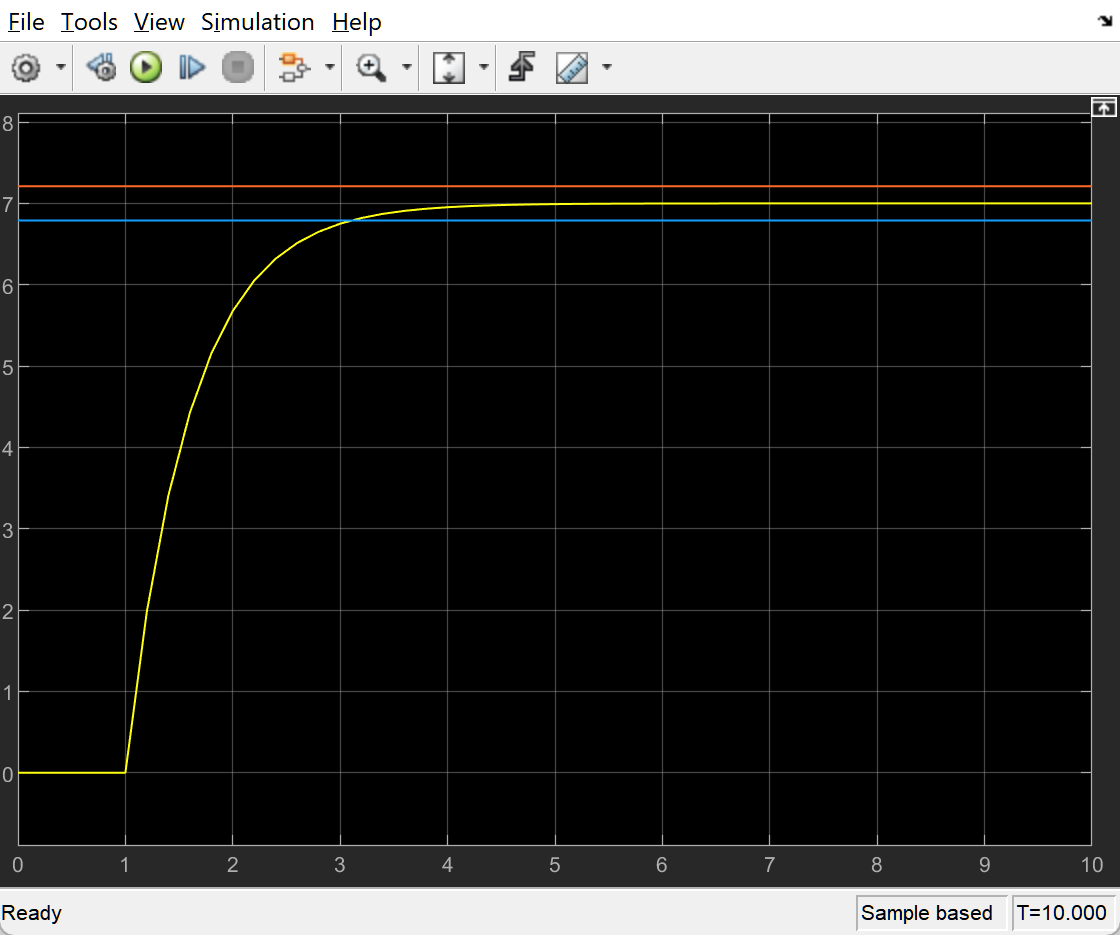


Рисунок 2.5 – График при K=7, T=0.6

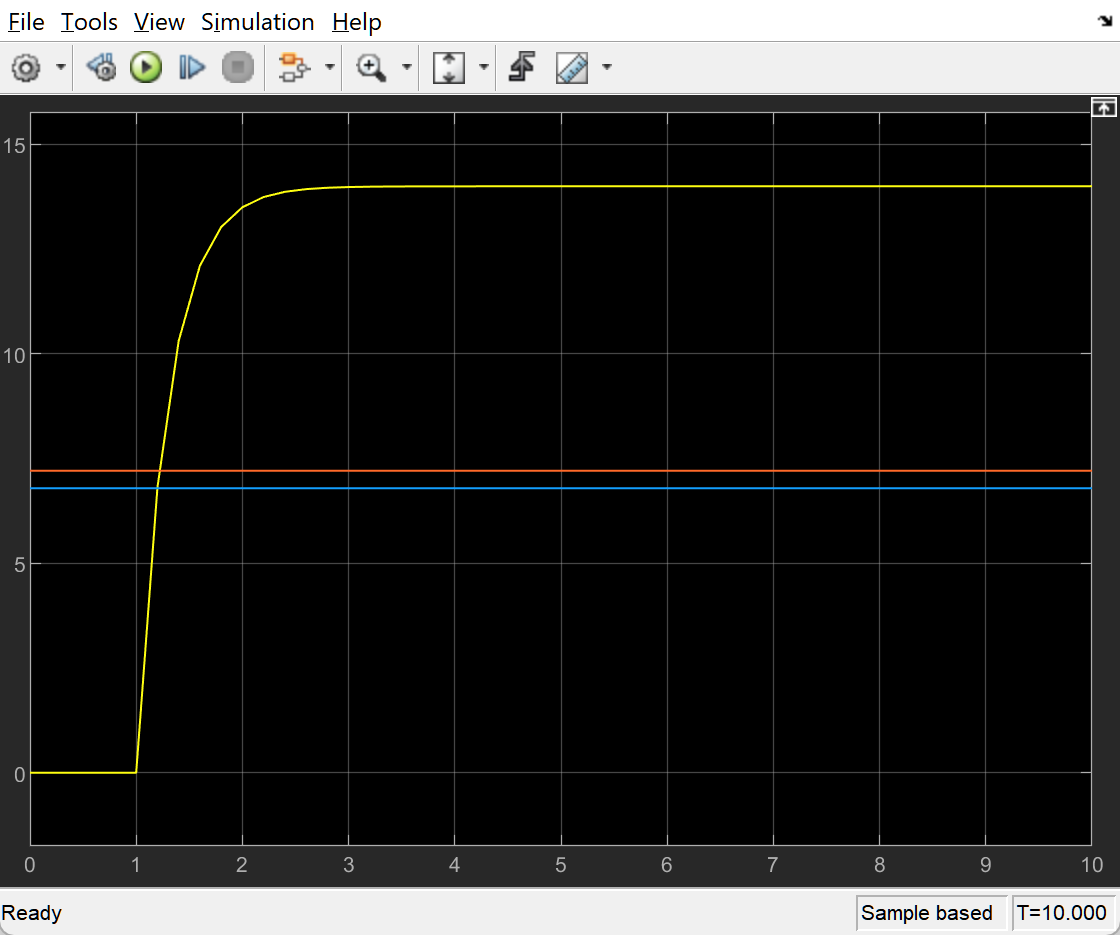


Рисунок 2.6 – График при K=14, T=0.3

Изучив графики на рисунках 2.5 и 2.6, мы можем понять, что именно T влияет на резкость роста сигнала, а K – на то, насколько «сильным» будет сигнал – будет брать большие значения.

# 4. Ход работы с системой с колебательным звеном:

Создадим схему:

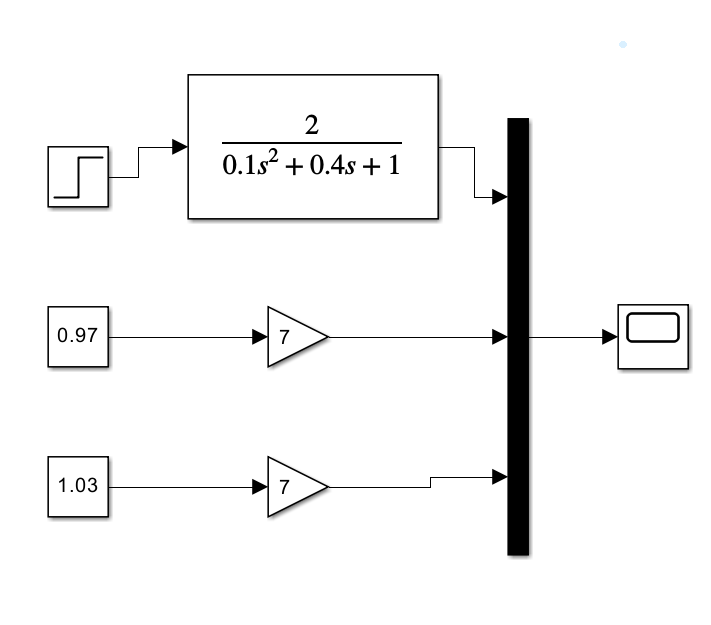


Рисунок 3.1 – Схема с колебательным звеном

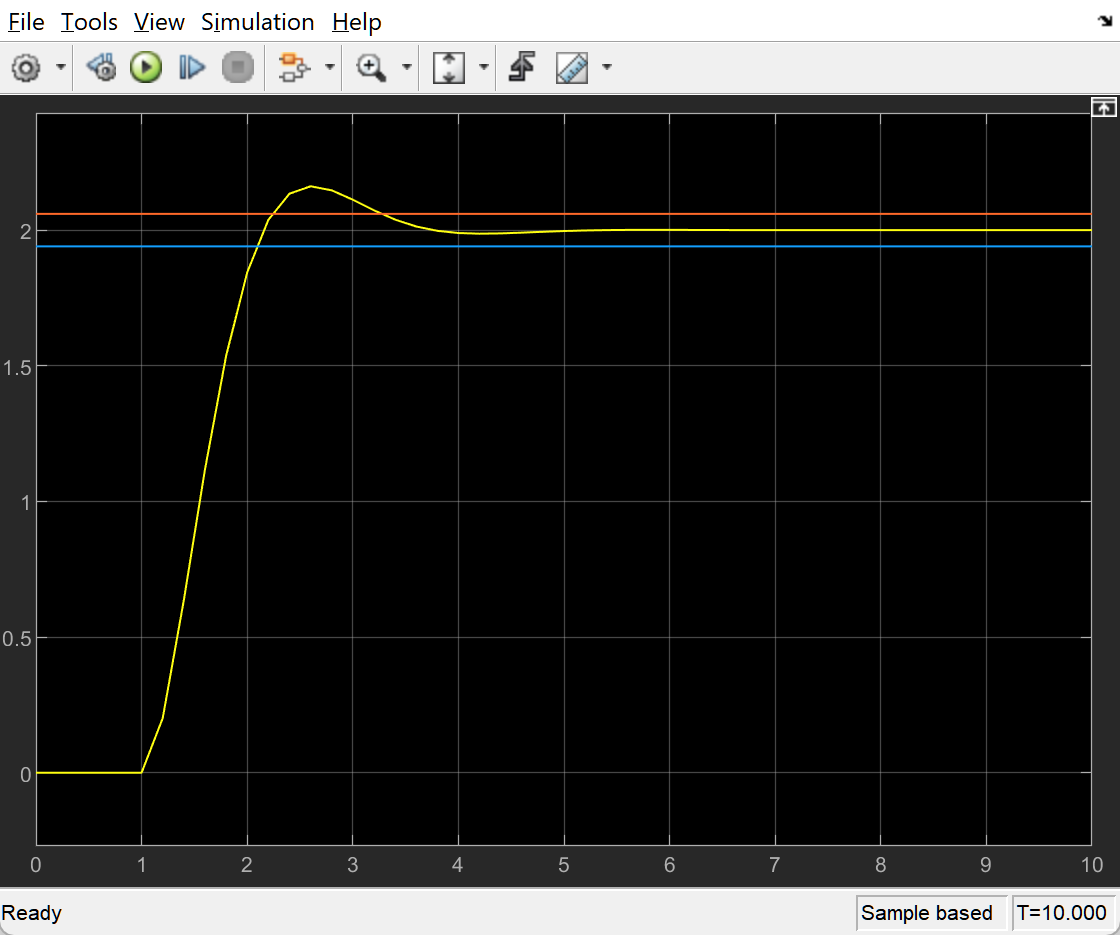


Рисунок 3.2 – График с K=2, =0.4, =0.1

**Оценка качества регулирования:**

Время регулирования = 2,3 секунд

Перерегулирование = h\_max – h\_уст / h\_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 =

Декремент затухания =

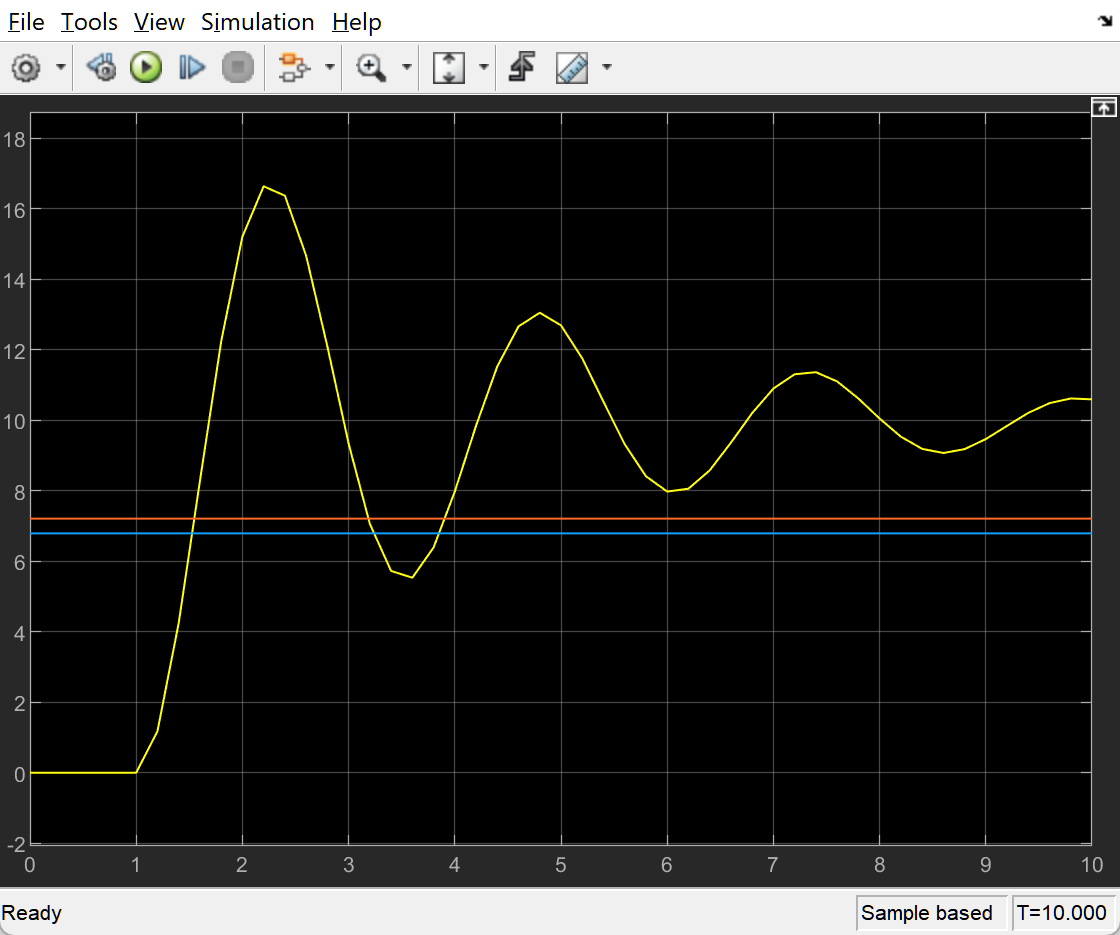


Рисунок 3.3 – График K=10

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

То есть, большее К увеличивает на h\_max, h\_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

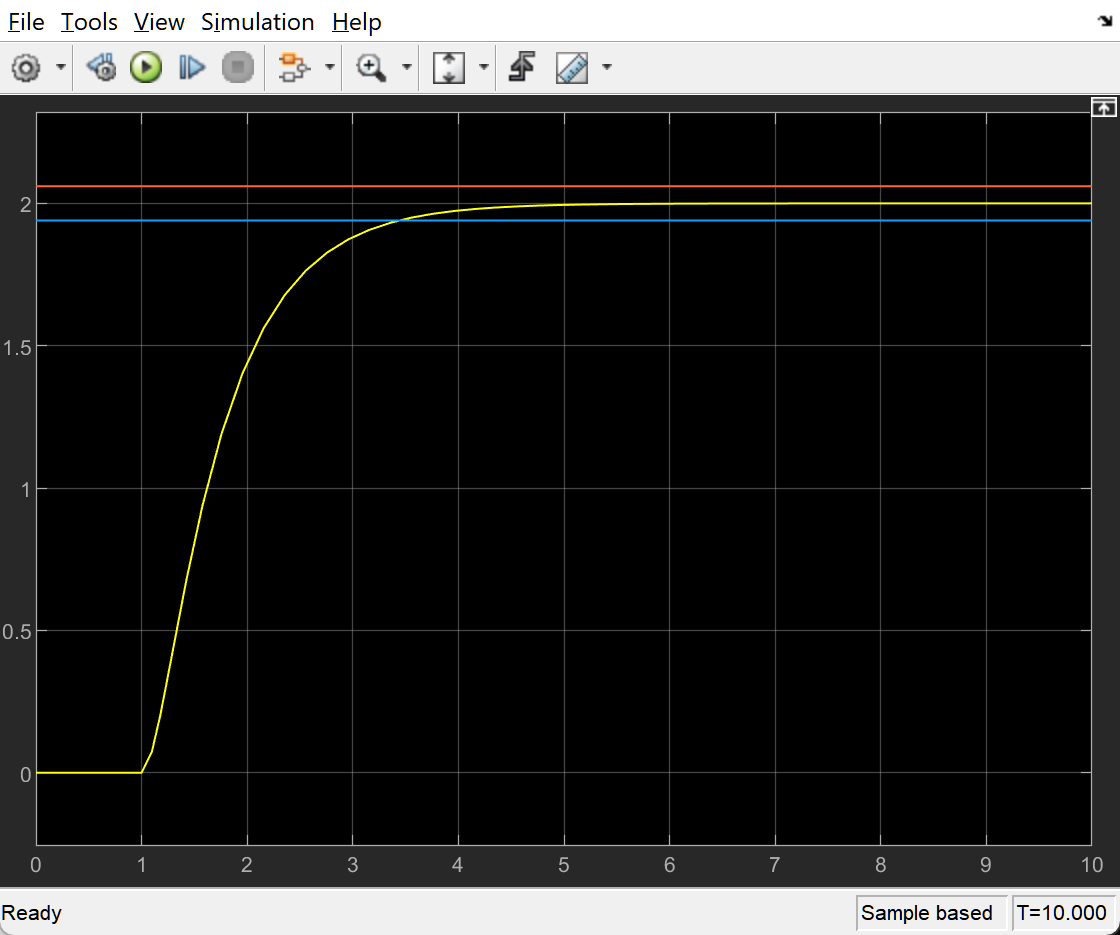


Рисунок 3.4 – График с K=2, T3=0.8, T2=0.1

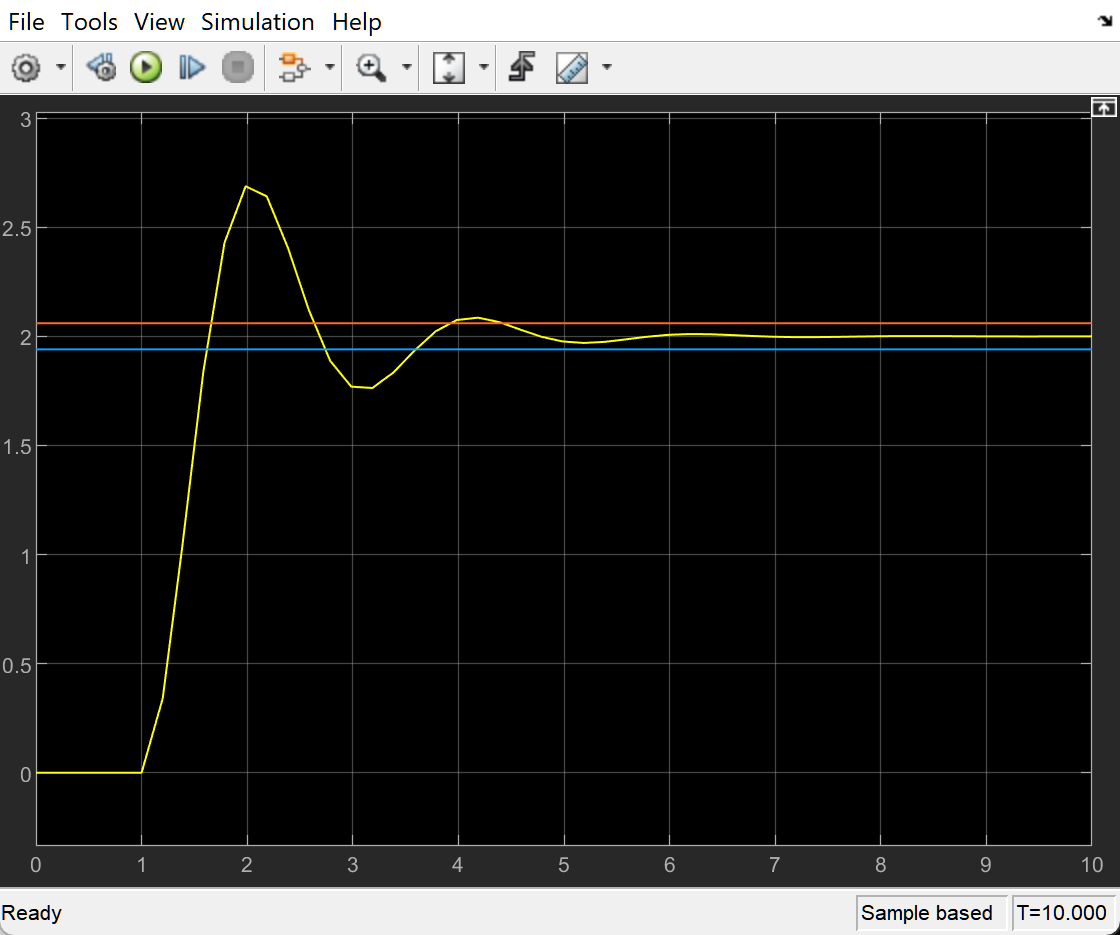


Рисунок 3.5 – K=2, T3=0.2, T2=0.1

Из графиков на рисунках 3.4-3.5 можно сделать вывод, что увеличение Т3 ведёт к уменьшению колебаний, уменьшению времени нарастания,

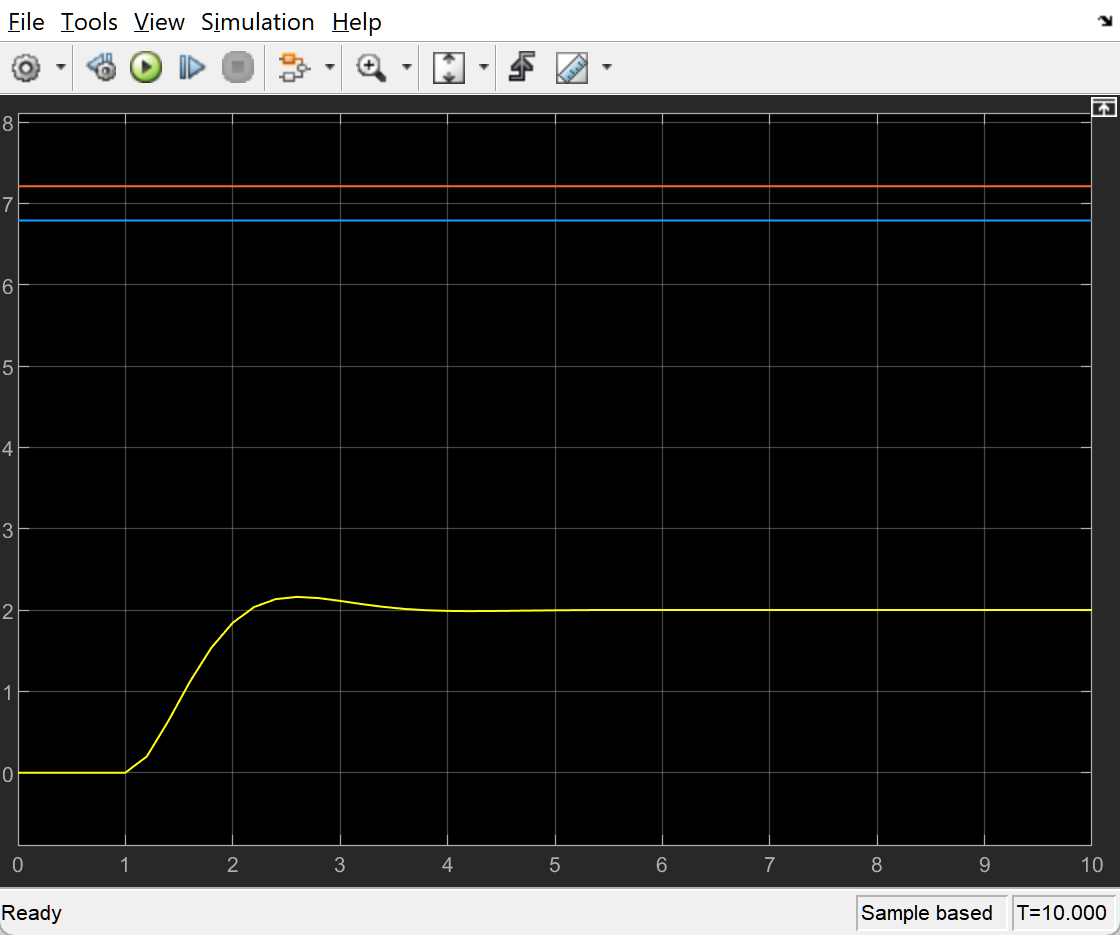


Рисунок 3.6 – График с K=2, T3=0.4, T2=1

Из данного графика можно сделать вывод, что Т2 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:

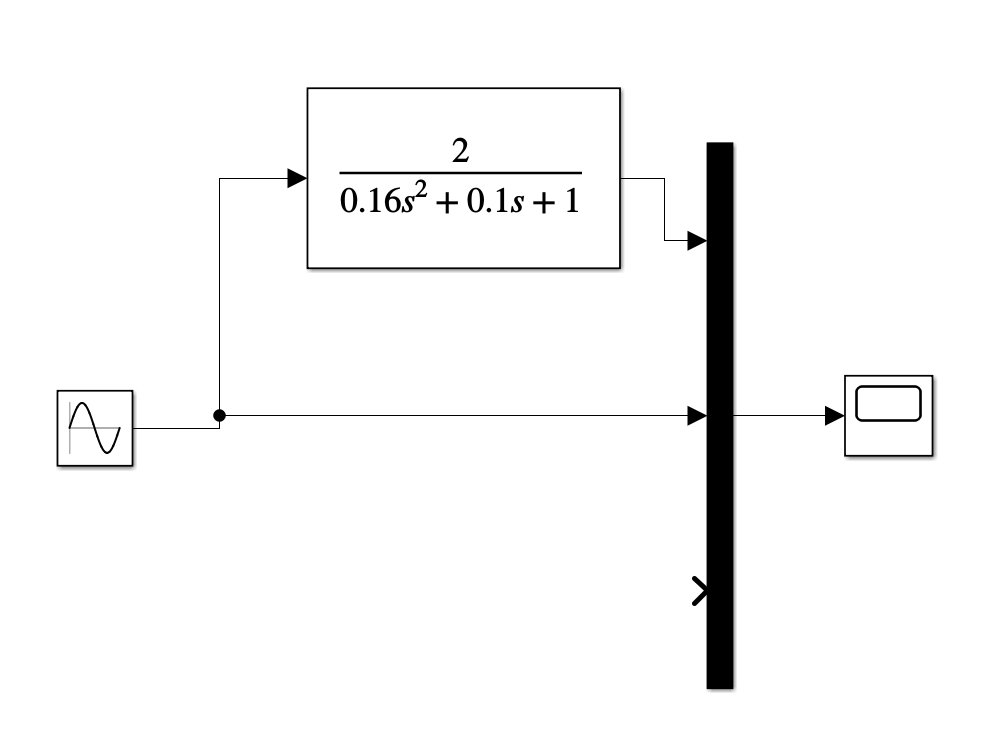


Рисунок 4.1 – Система с гармоническими колебаниями

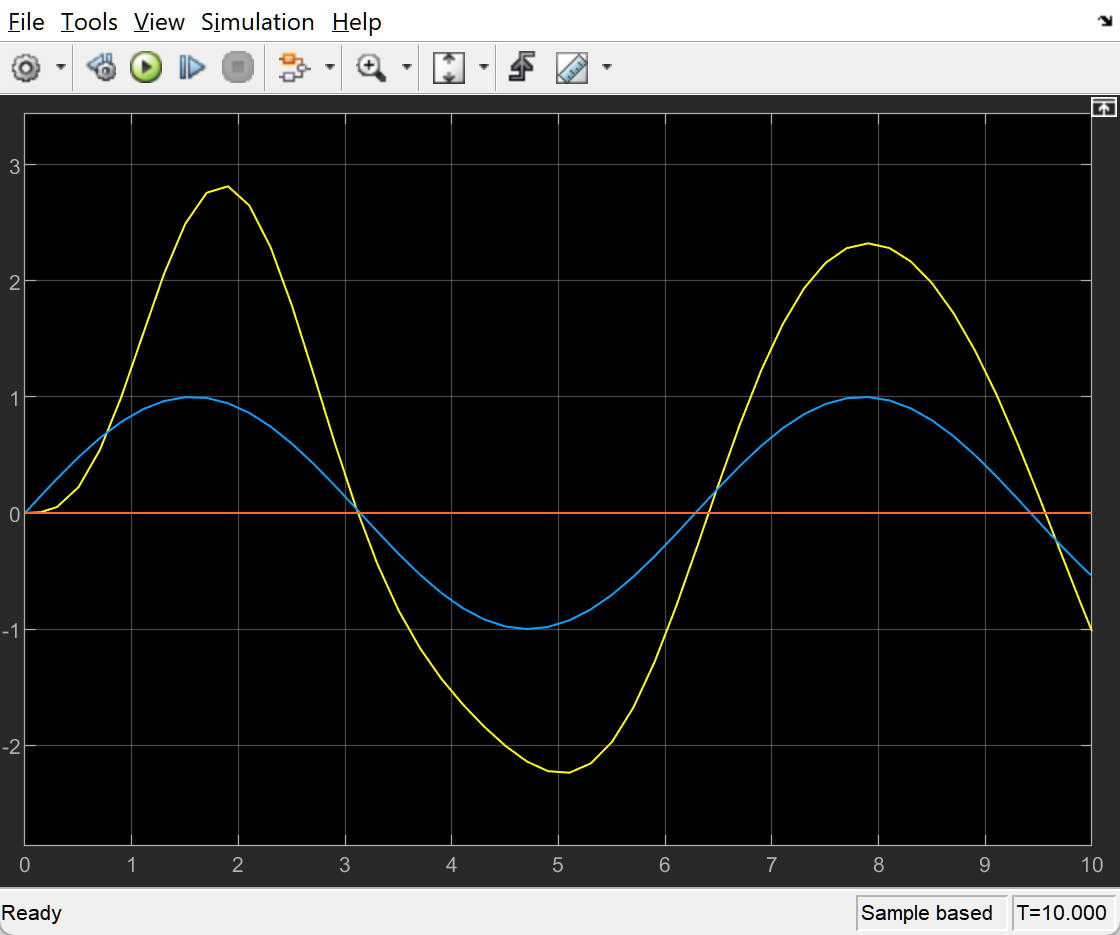


Рисунок 4.2 – Гармонические колебания с заданными параметрами K=2, T3=0.4, T2=0.1

Запасы устойчивости по амплитуде и фазе =

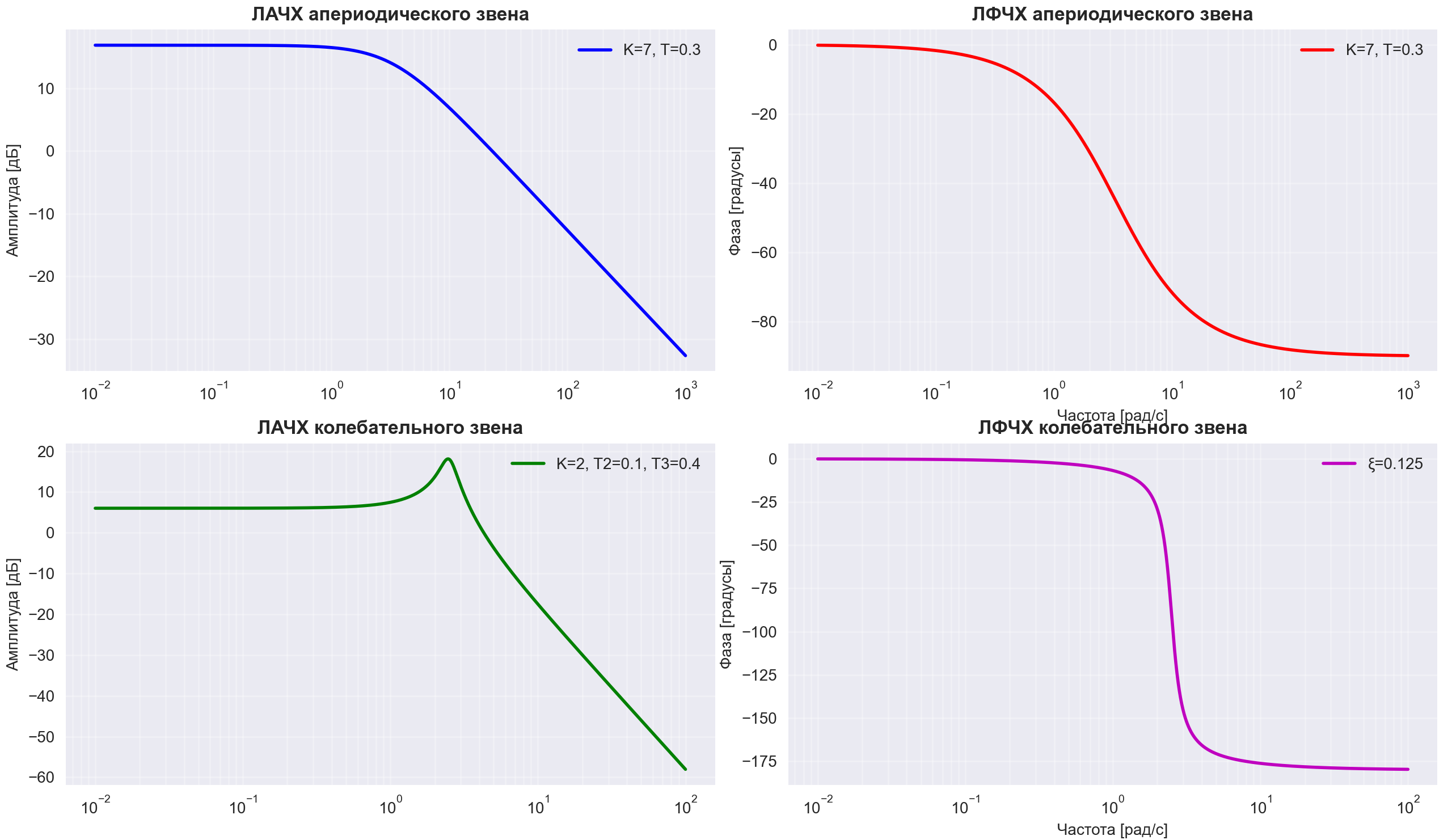


Рисунок 5.1 – Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ для апериодического звена

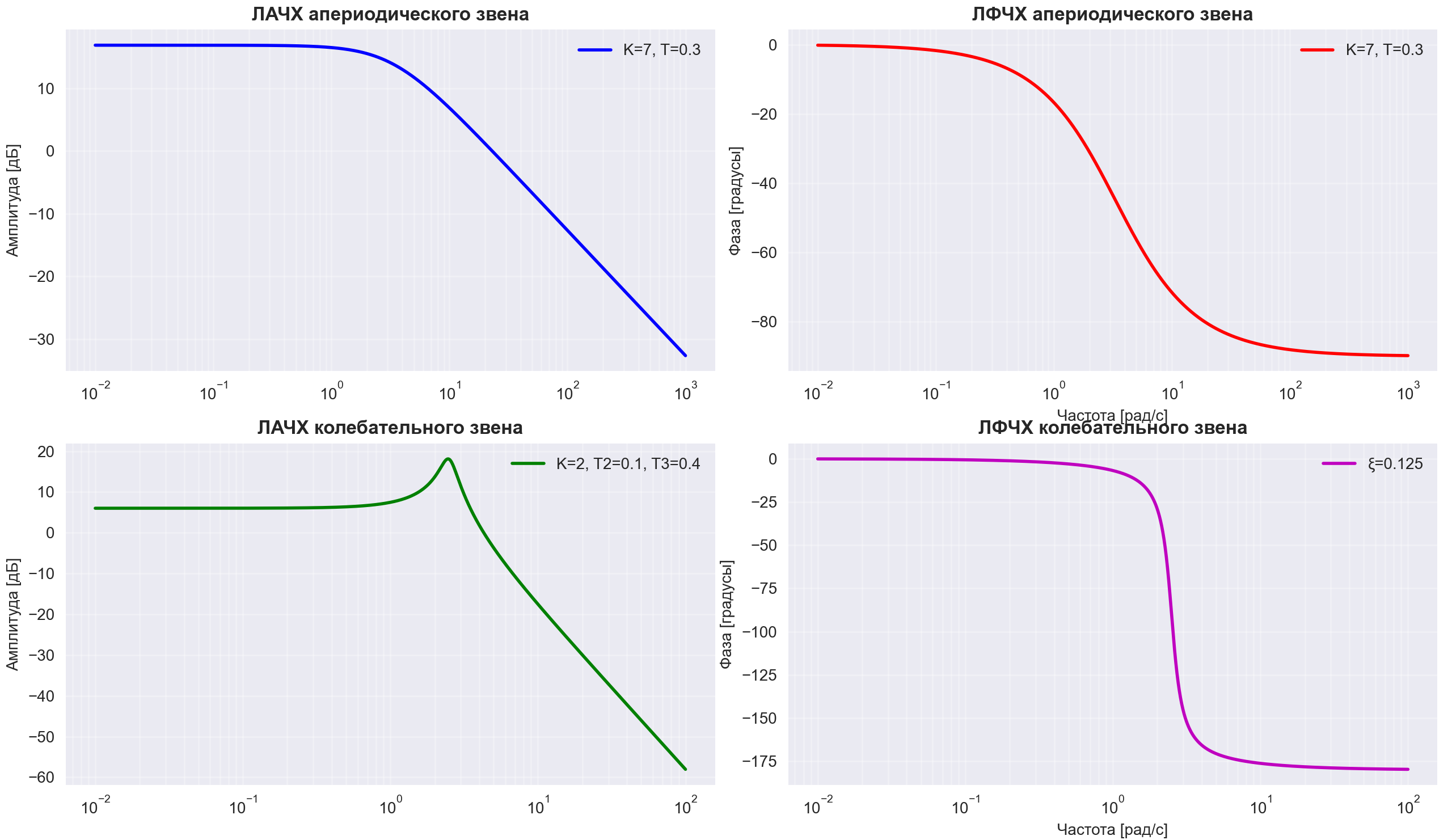


Рисунок 5.2 – Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ для колебательного звена

**Оценки качества регулирования для апериодического звена:**

Показатель колебательности М (отношение максимального значения к значению при омега=0, склонность к колебаниям) = 0

Резонансная (собственная) частота (где максимум усиления) 0^0

Полоса пропускания системы (от омега = 0, до омега\_0) = от 10^-2 до 10^0

Частота среза (где А = 1) = 13

**Оценки качества регулирования для колебательного звена:**

Показатель колебательности М = 18/5 = 3,6

Резонансная (собственная) частота

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 T₂ оказывает влияние на демпфирование системы. Увеличение T₂ с 0.1 до 1 снижает колебательность процесса, уменьшает перерегулирование и делает переходный процесс более плавным.
* Постоянная времени T₃ влияет на частоту колебаний. Увеличение T₃ 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° до -90°.
* 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° до -180°.

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 ξ = {xi\_osc:.3f}")  
  
# Создаем передаточную функцию: W(s) = K / (T²\*s² + 2\*ξ\*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: ω\_c = {w\_c\_aper:.2f} рад/с")  
print(f" - Установившееся усиление: {20\*np.log10(K\_aper):.1f} дБ")  
  
print(f"\nКолебательное звено:")  
print(f" - Сопрягающая частота: ω\_c = {w\_c\_osc:.2f} рад/с")  
print(f" - Коэффициент демпфирования: ξ = {xi\_osc:.3f}")  
print(f" - Установившееся усиление: {20\*np.log10(K\_osc):.1f} дБ")  
  
if xi\_osc < 0.707:  
 print(f" - Резонансный всплеск: ДА (ξ < 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 (ξ ≥ 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()