

*Министерство образования и науки Российской Федерации ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,  
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ*

**Отчёт по практической работе №4**  
**по дисциплине**  
**«Имитационное моделирование**  
**робототехнических систем»**

Отчёт выполнила: Румянцева А.В. (340890)

Преподаватель: Ракшин Е.А. (373529)

Дата выполнения: 20.11.2025

*Санкт-Петербург, 2025*

## 1. Постановка задачи и цель работы

В данной работе предлагается задать определённое управление для двух суставов, создав актуаторы.

## 2. Создание модели XML

### а. Выполнение работы

В ходе выполнения работы была взята модель с прошлой работы, к которой уже был сделан актуатор и к которой уже было подано определённое управление. В этой работе было принято решение исследовать влияние ПД регулятора на управление. Демпфирование останется таким же для целесообразности исследования.

В ходе исследования будут исследованы три возможных сценария:

- Управление только для первого сустава
- Управление только для второго сустава
- Управление на обоих суставах

Для каждого из сценария будут заданы определённые коэффициенты регулятора с целью рассмотреть их воздействие на систему.

Таблица №1. Варианты пар для коэффициентов ПД регулятора

№	KP	KV
1	10	10
2	100	10
3	10	100
4	100	100

### б. Результат

Модель не изменилась с прошлого задания.

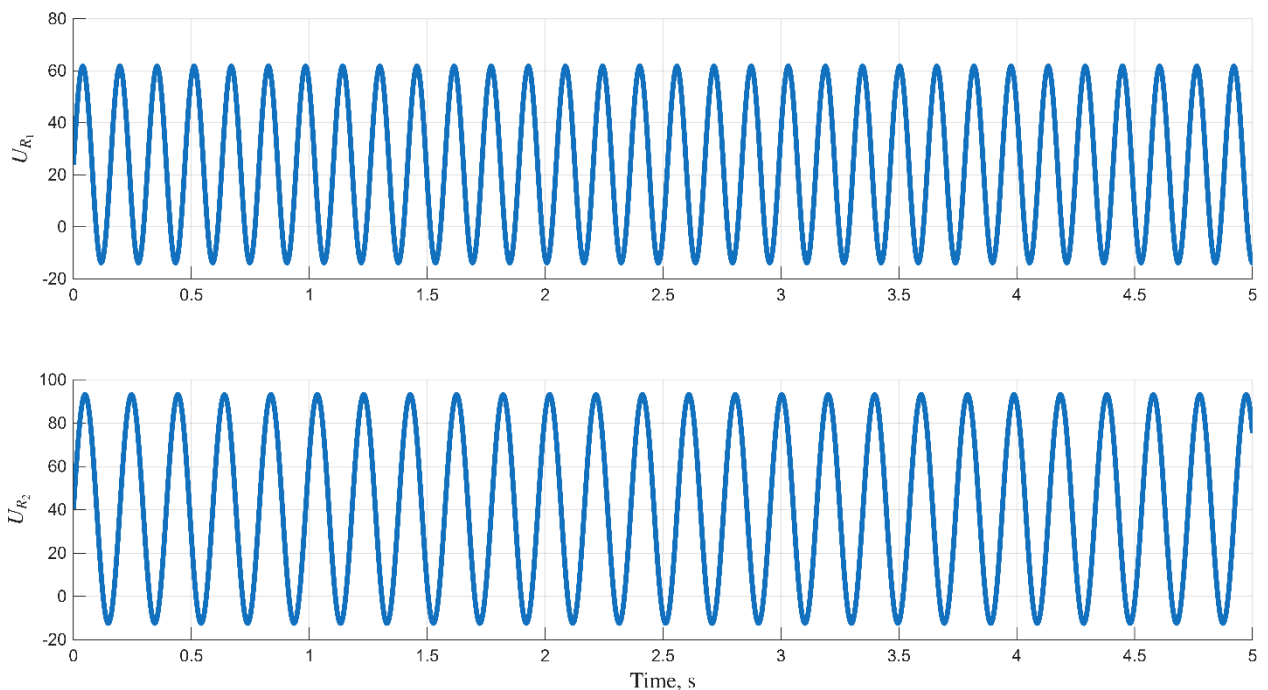


Рисунок 1. Подаваемое управление для первого и второго сустава

### 3. Исследование

#### а. Управление первым суставом

Пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ )

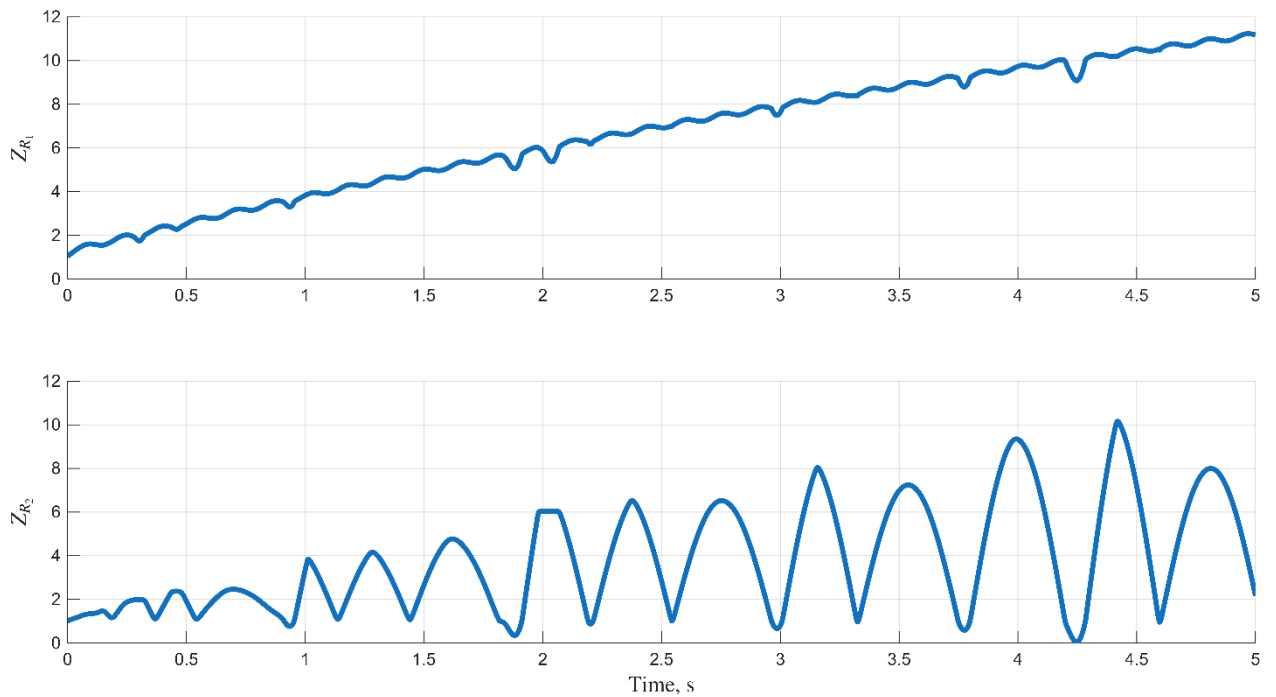


Рисунок 2. Положение первого и второго сустава

Пара №2 ( $KP = 100$ ,  $KV = 10$ )

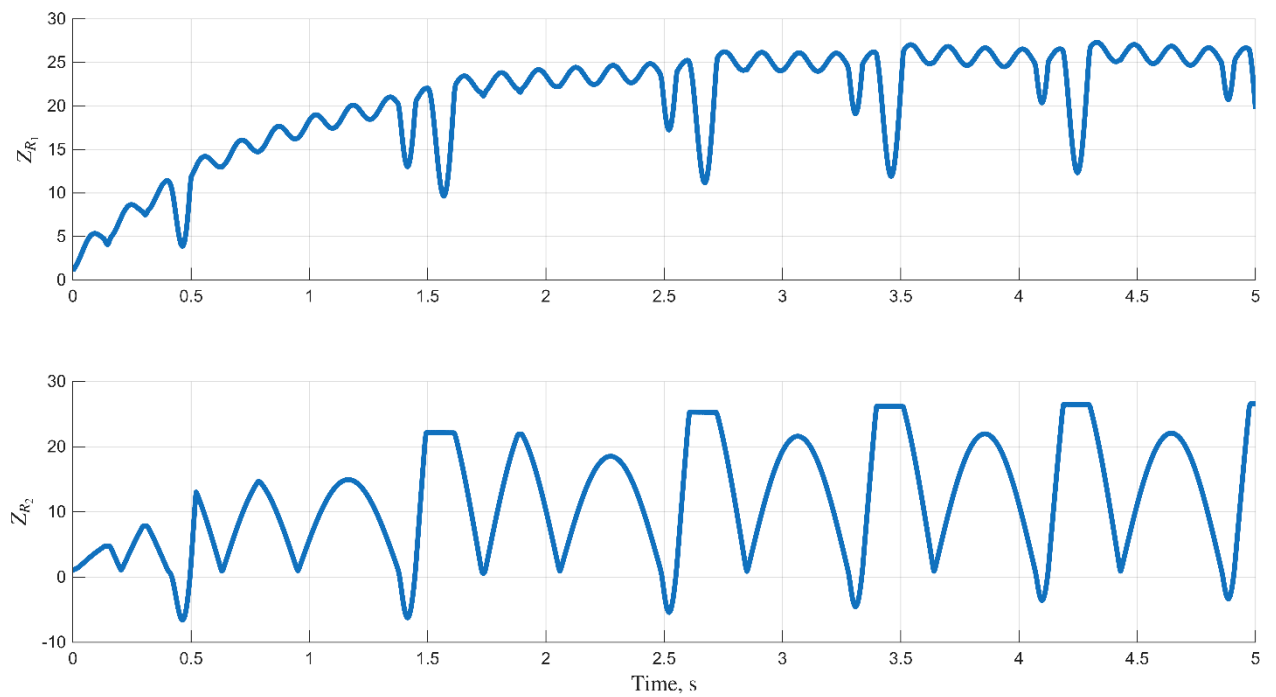


Рисунок 3. Положение первого и второго сустава

Пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ )

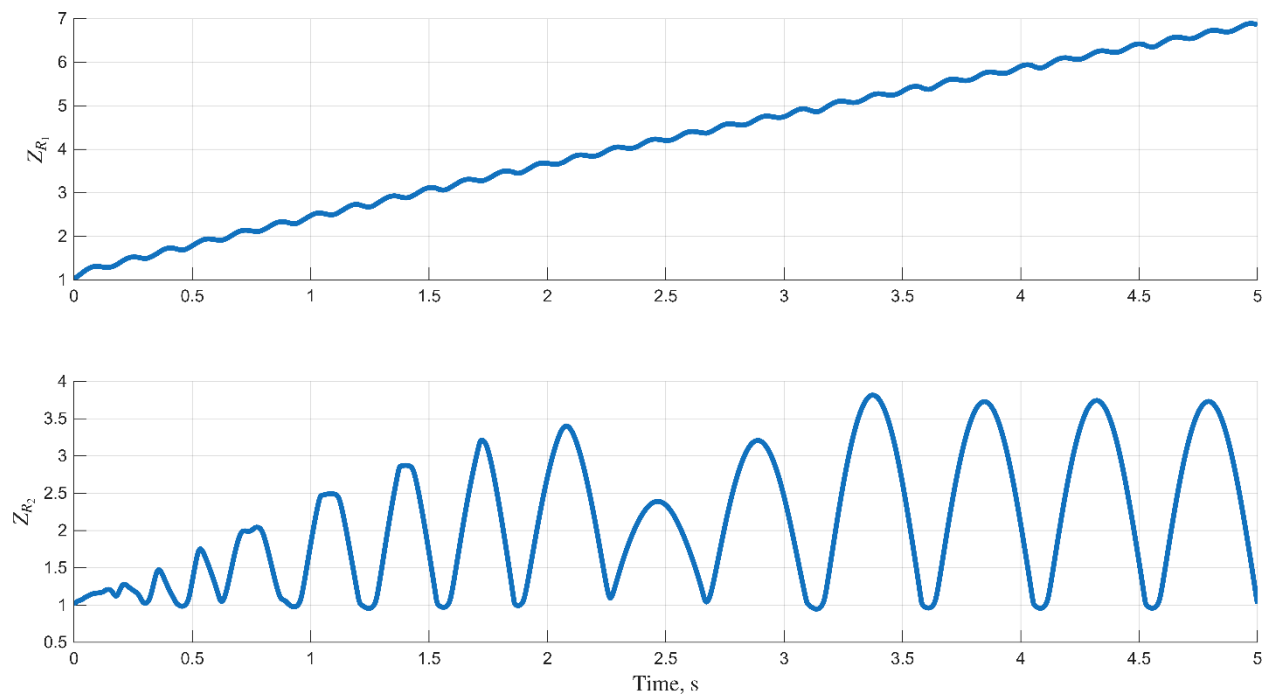


Рисунок 4. Положение первого и второго сустава

Пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ )

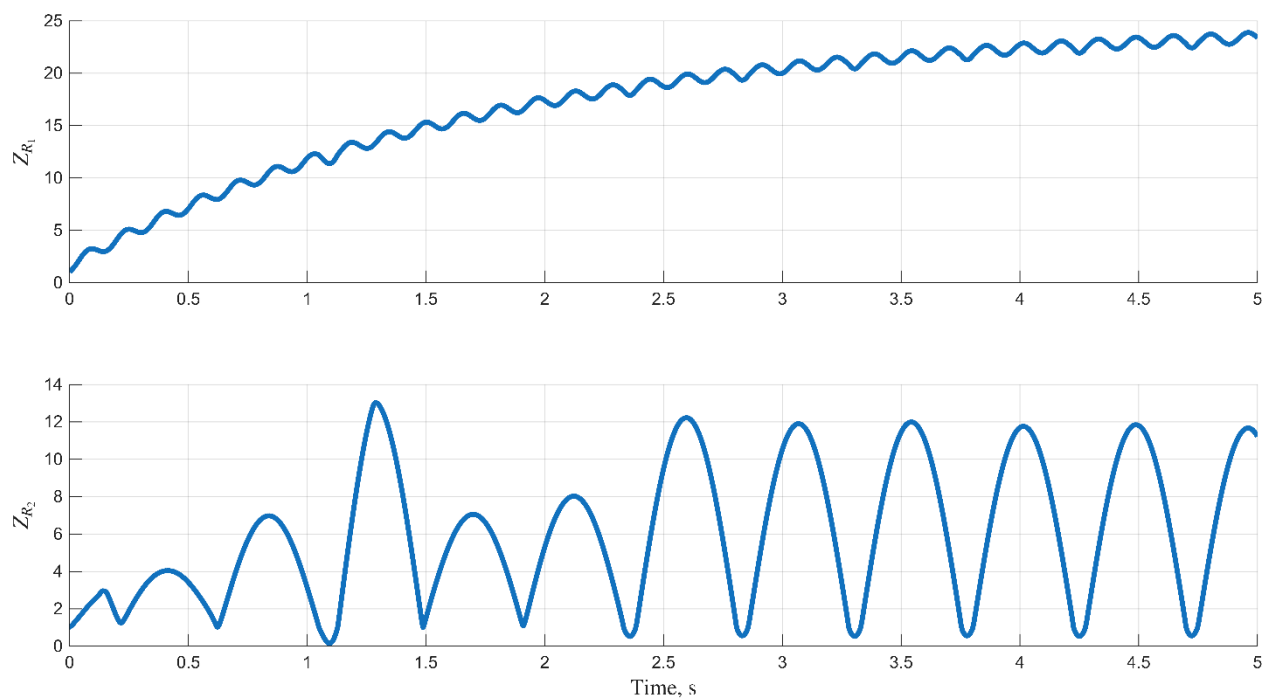


Рисунок 5. Положение первого и второго сустава

## б. Управление вторым суставом

Пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ )

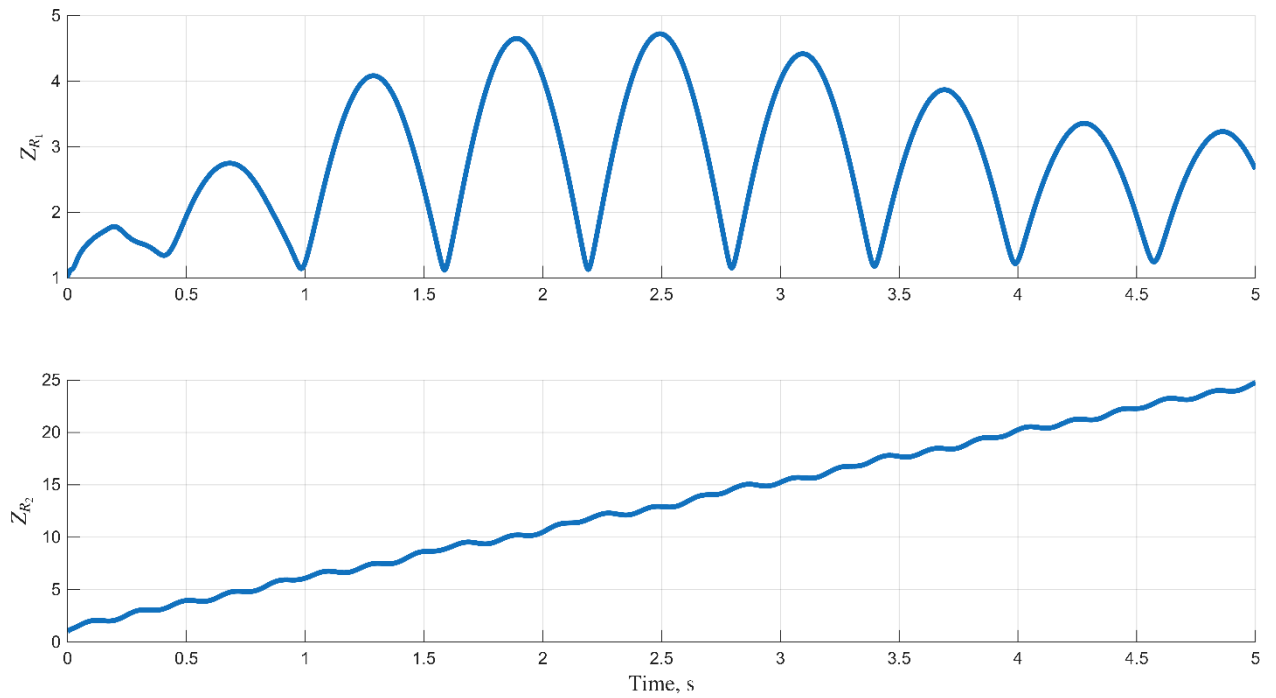


Рисунок 6. Положение первого и второго сустава

Пара №2 ( $KP = 100$ ,  $KV = 10$ )

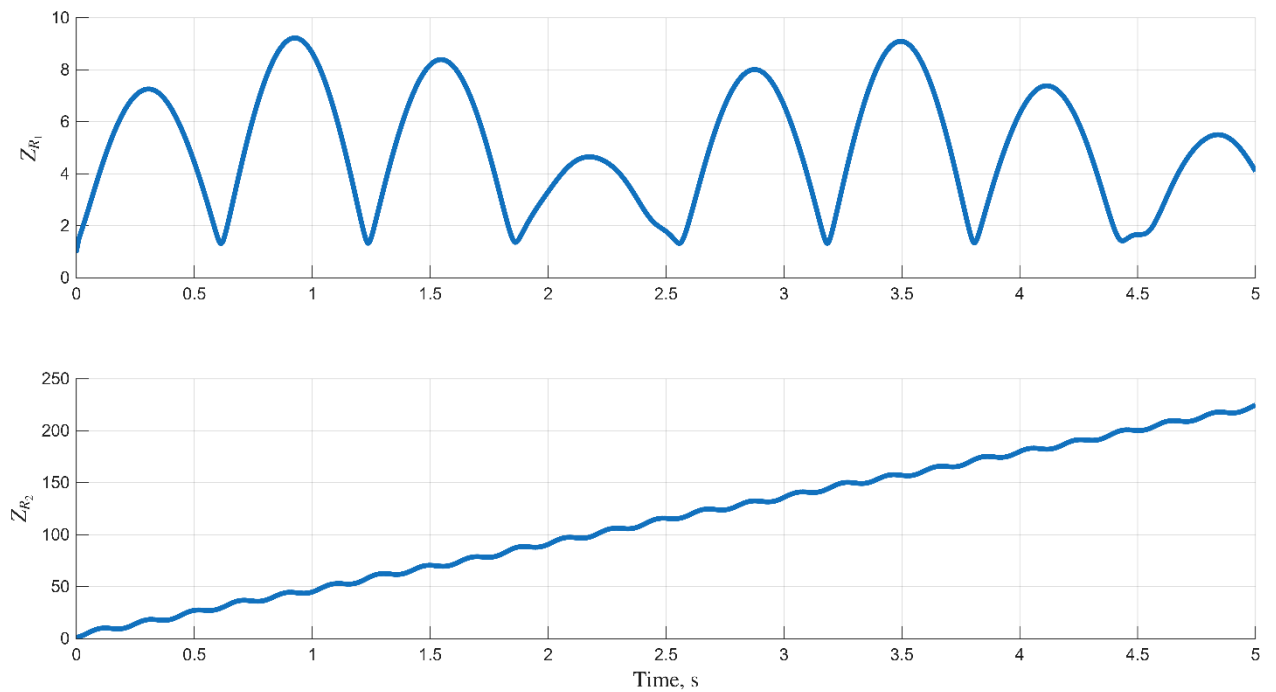


Рисунок 7. Положение первого и второго сустава

Пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ )

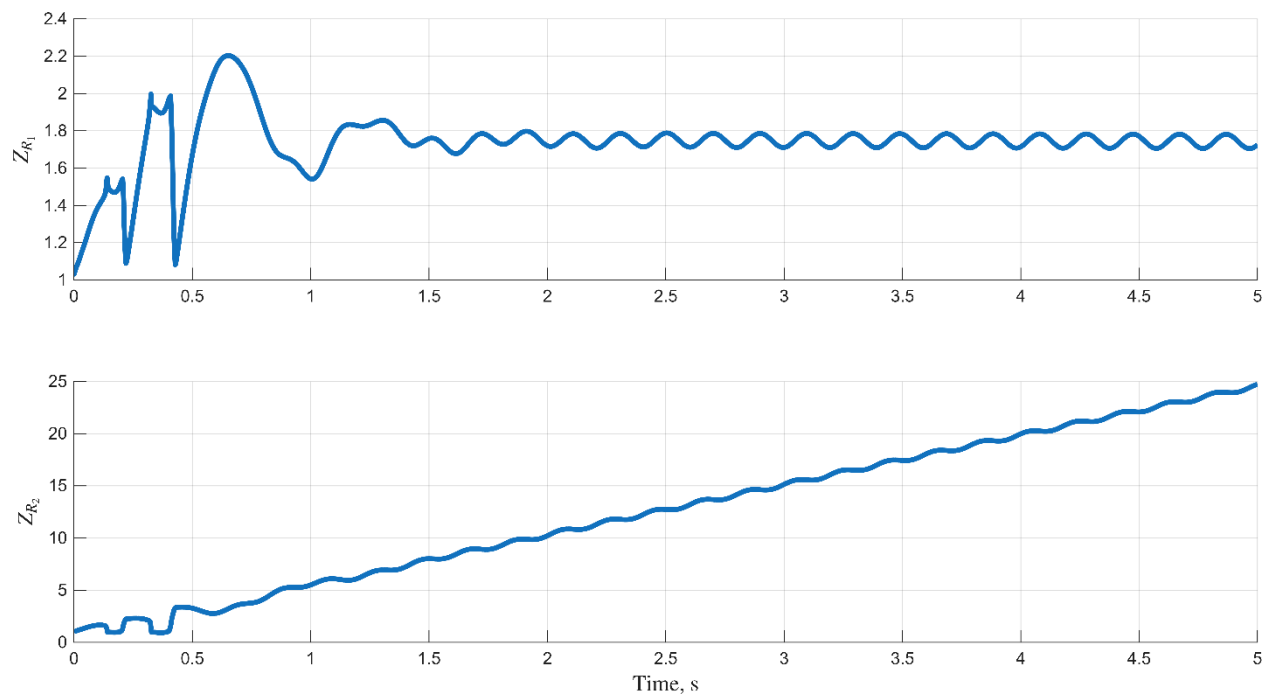


Рисунок 8. Положение первого и второго сустава

Пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ )

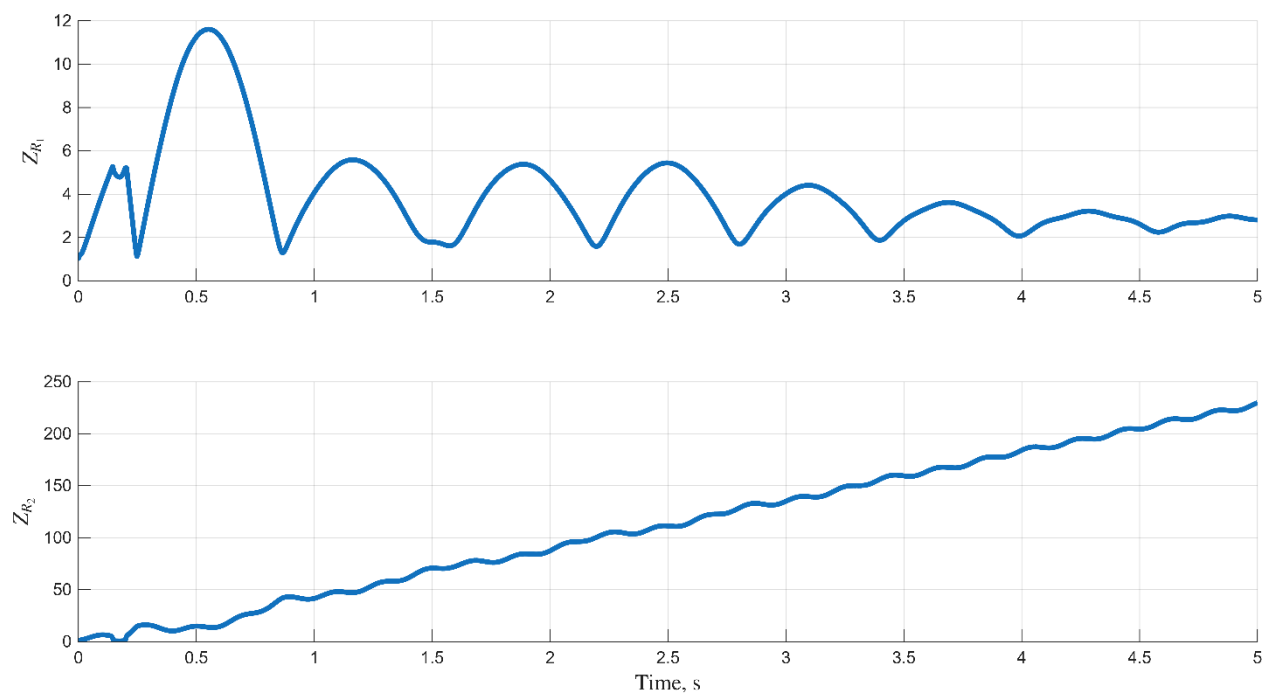


Рисунок 9. Положение первого и второго сустава

### с. Управление двумя суставами

Пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ ) и пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ )

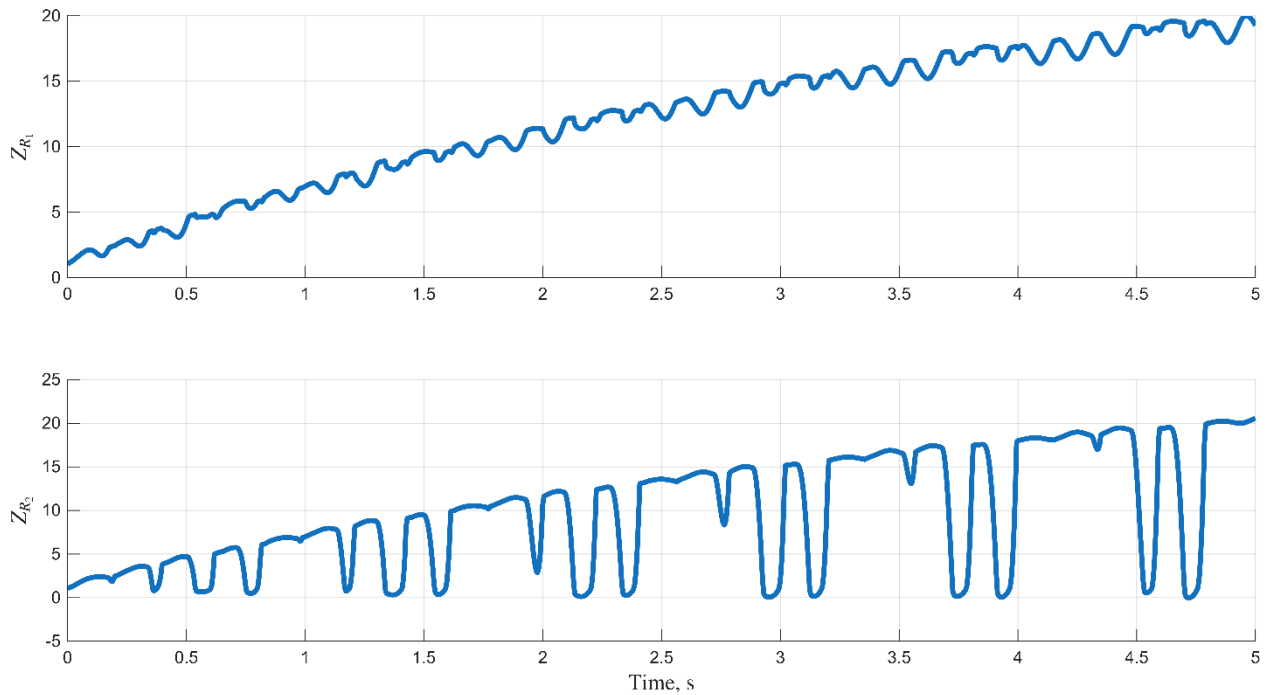


Рисунок 10. Положение первого и второго сустава

Пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ ) и пара №2 ( $KP = 100$ ,  $KV = 10$ )

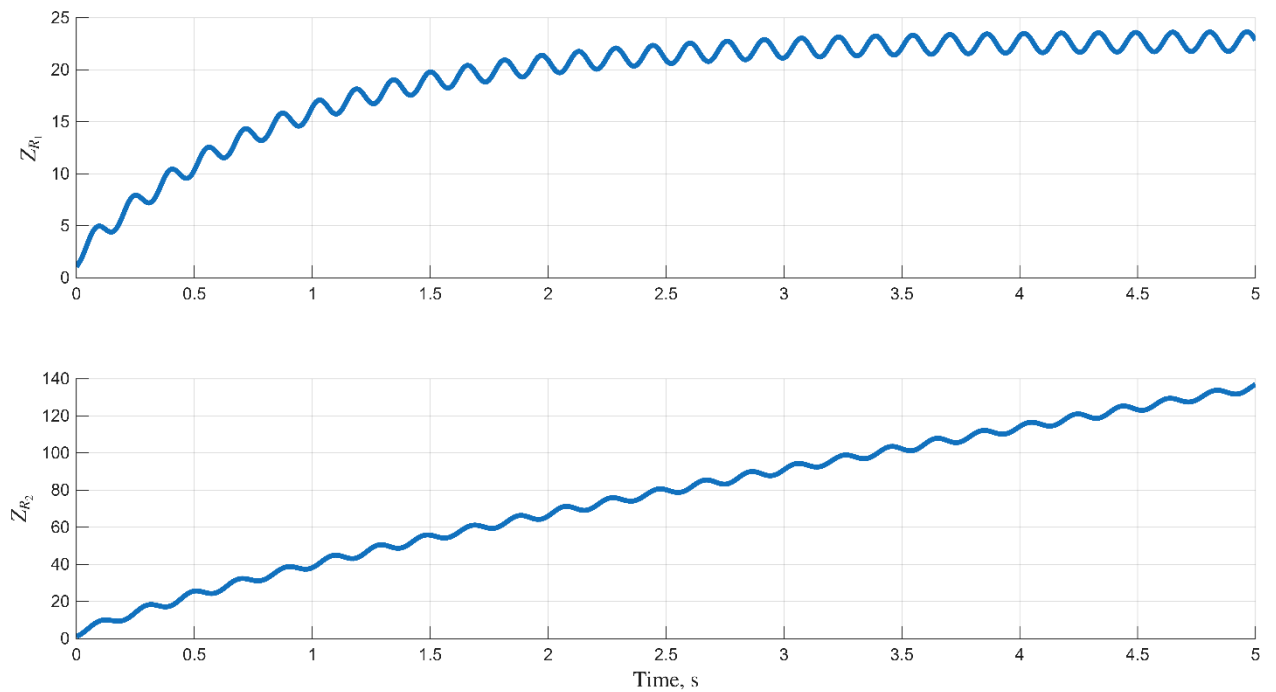


Рисунок 11. Положение первого и второго сустава

*Пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ ) и пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ )*

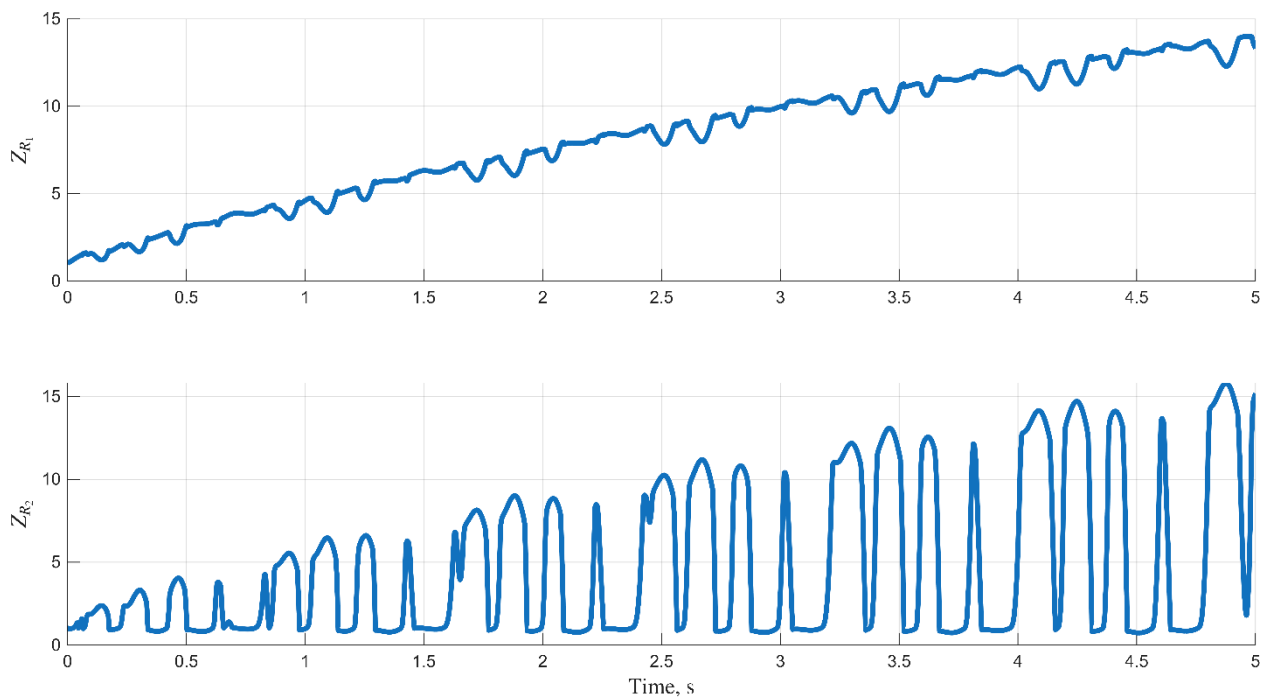


Рисунок 12. Положение первого и второго сустава

*Пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ ) и пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ )*

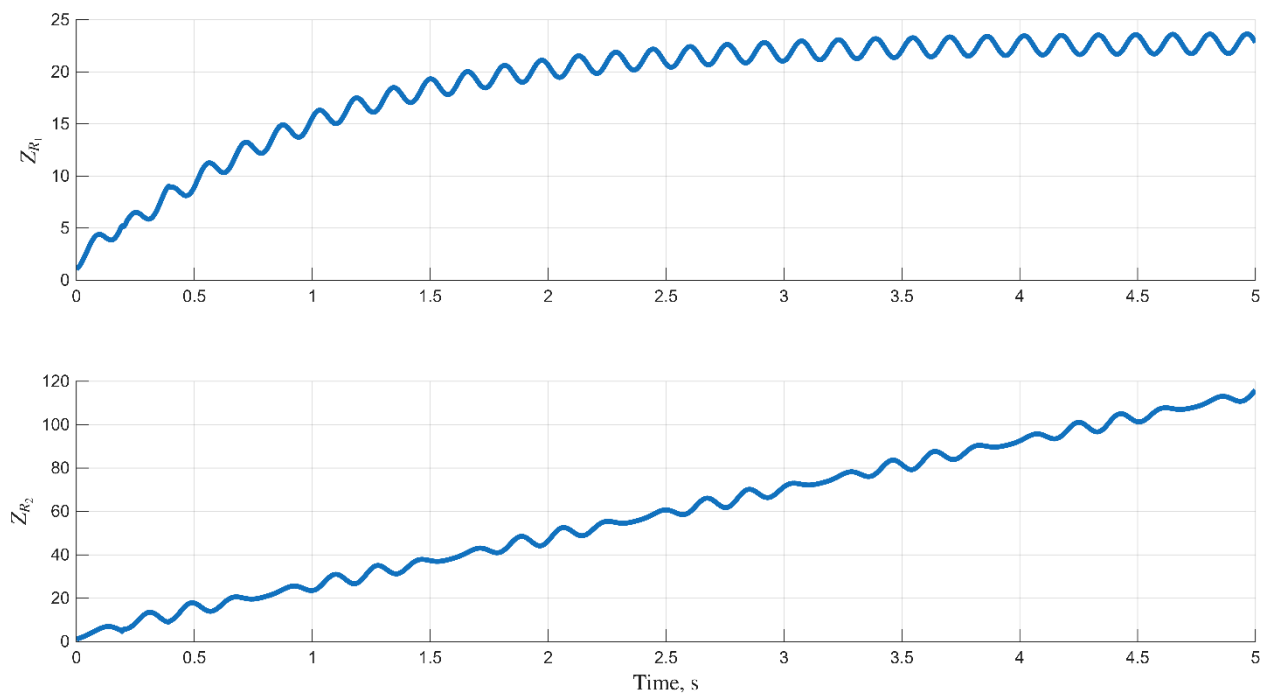


Рисунок 13. Положение первого и второго сустава



Пара №2 ( $KP = 100, KV = 10$ ) и пара №1 ( $KP = 10, KV = 10$ )

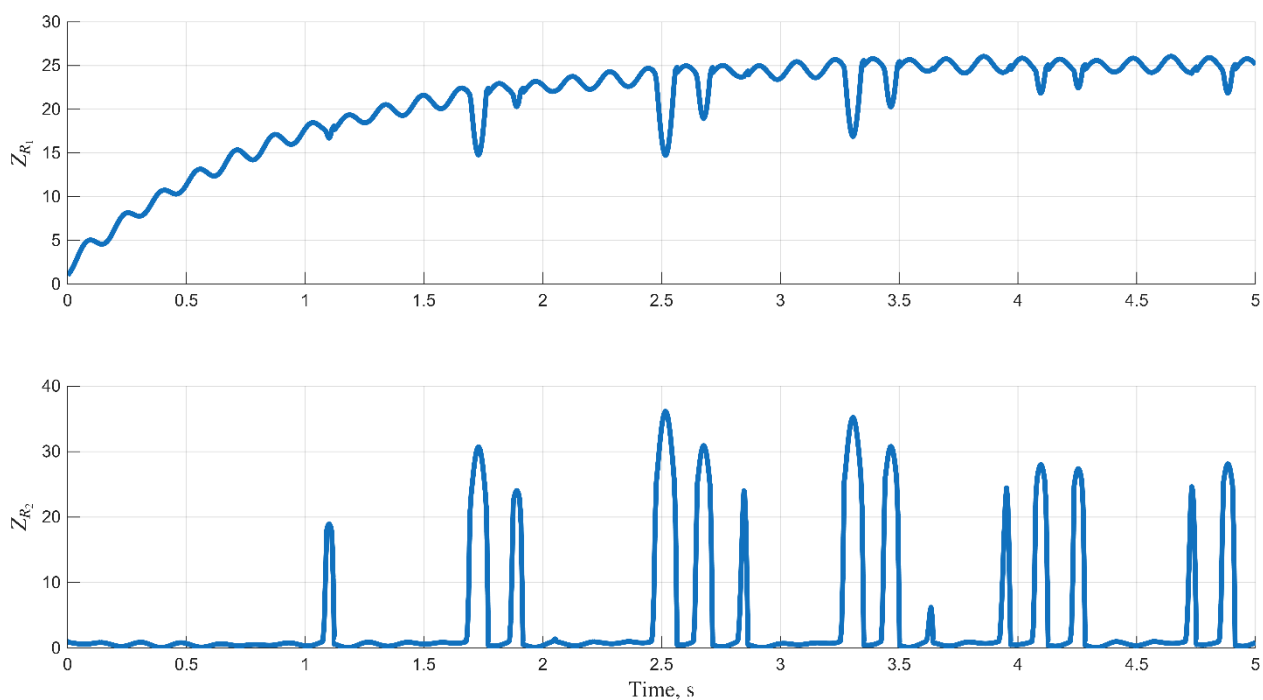


Рисунок 14. Положение первого и второго сустава

Пара №2 ( $KP = 100, KV = 10$ ) и пара №2 ( $KP = 100, KV = 10$ )

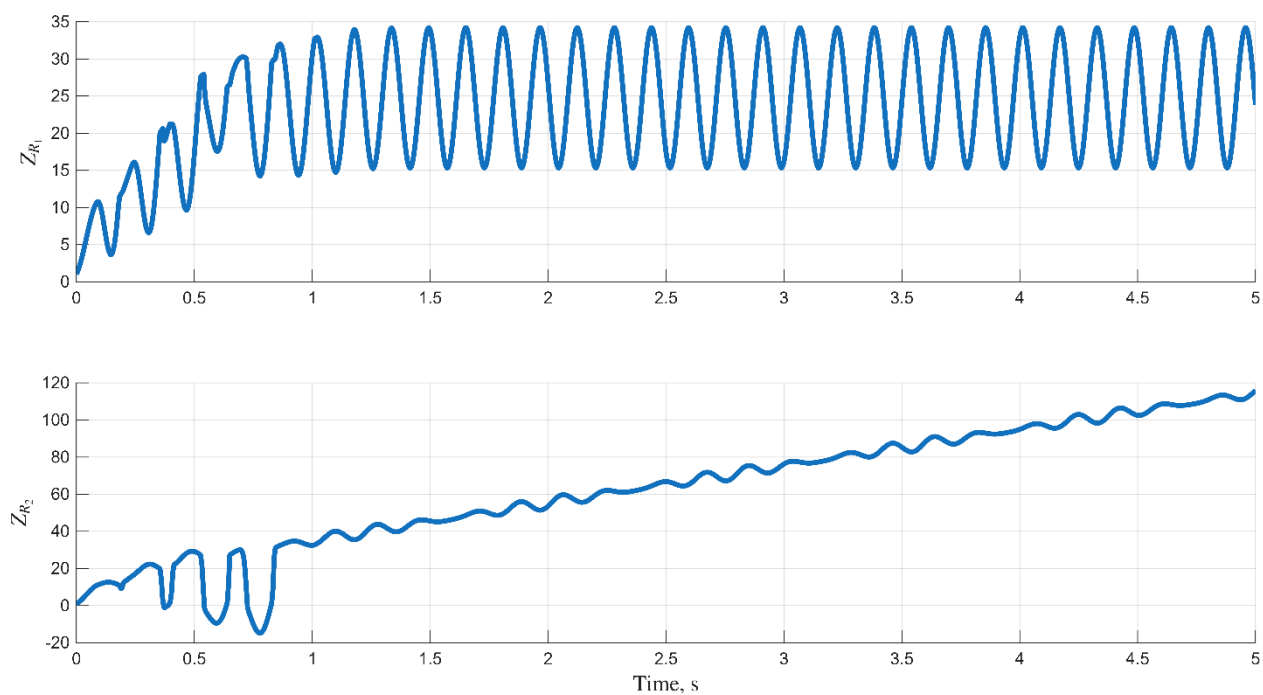


Рисунок 15. Положение первого и второго сустава

*Пара №2 ( $KP = 100$ ,  $KV = 10$ ) и пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ )*

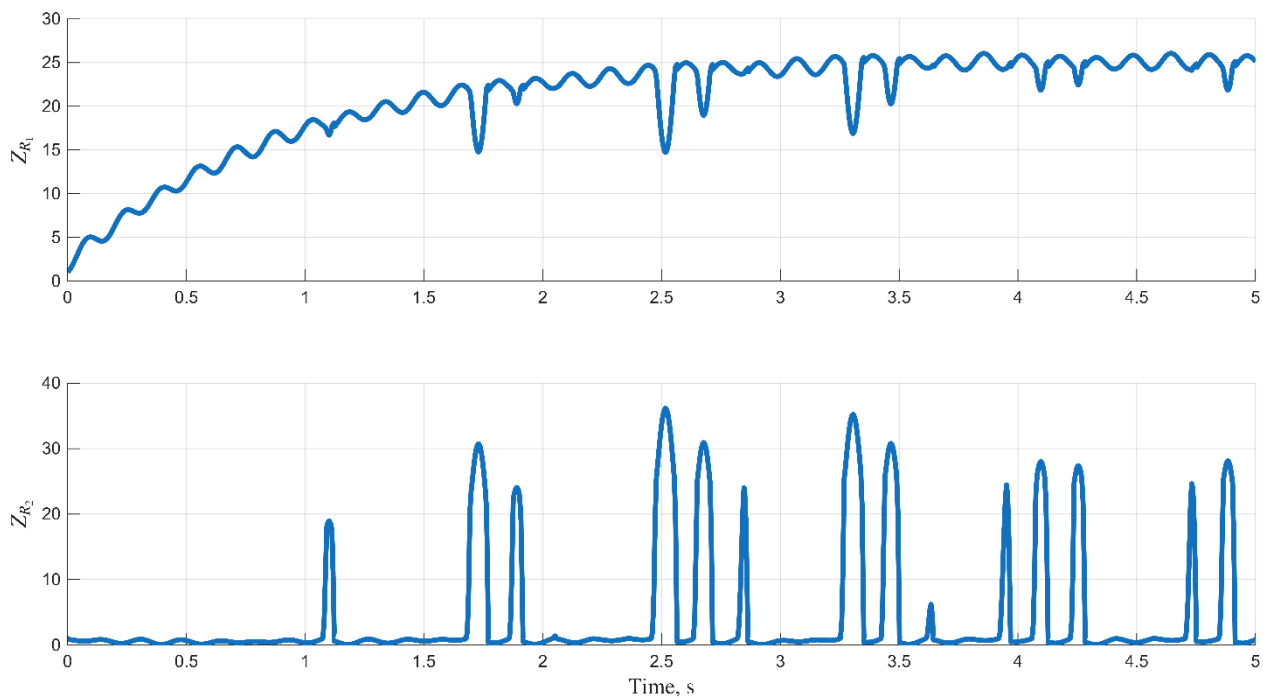


Рисунок 16. Положение первого и второго сустава

*Пара №2 ( $KP = 100$ ,  $KV = 10$ ) и пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ )*

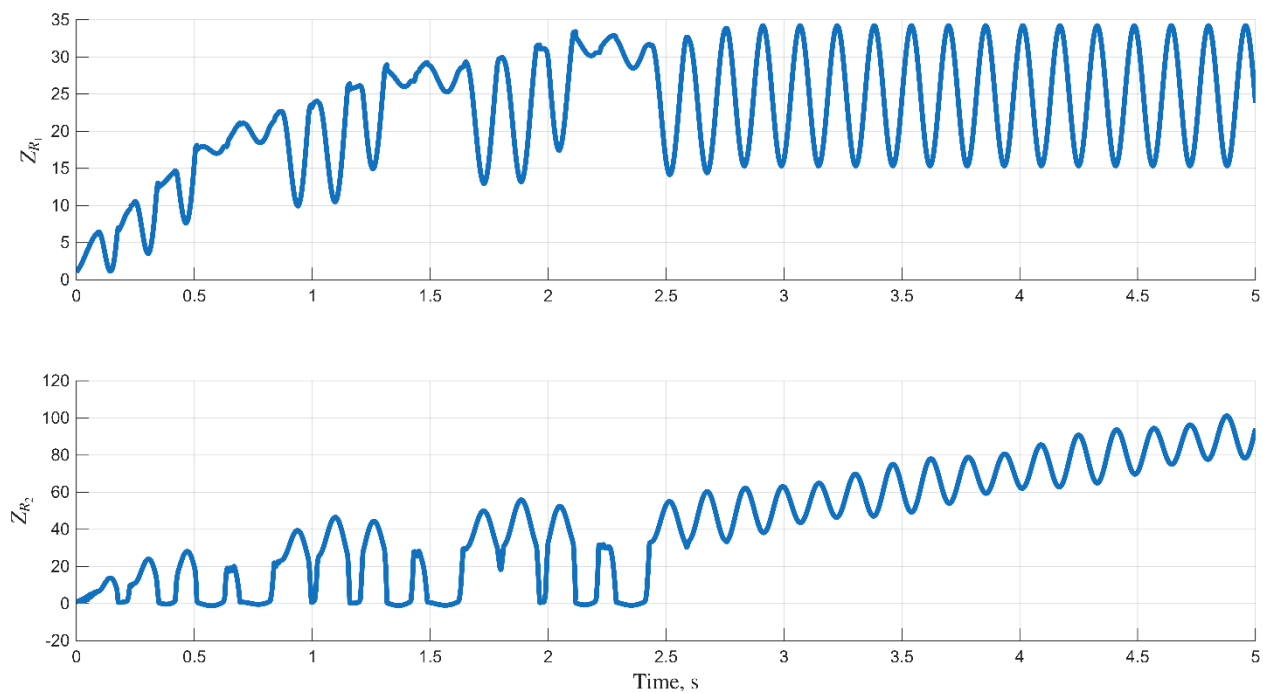


Рисунок 17. Положение первого и второго сустава

Пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ ) и пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ )

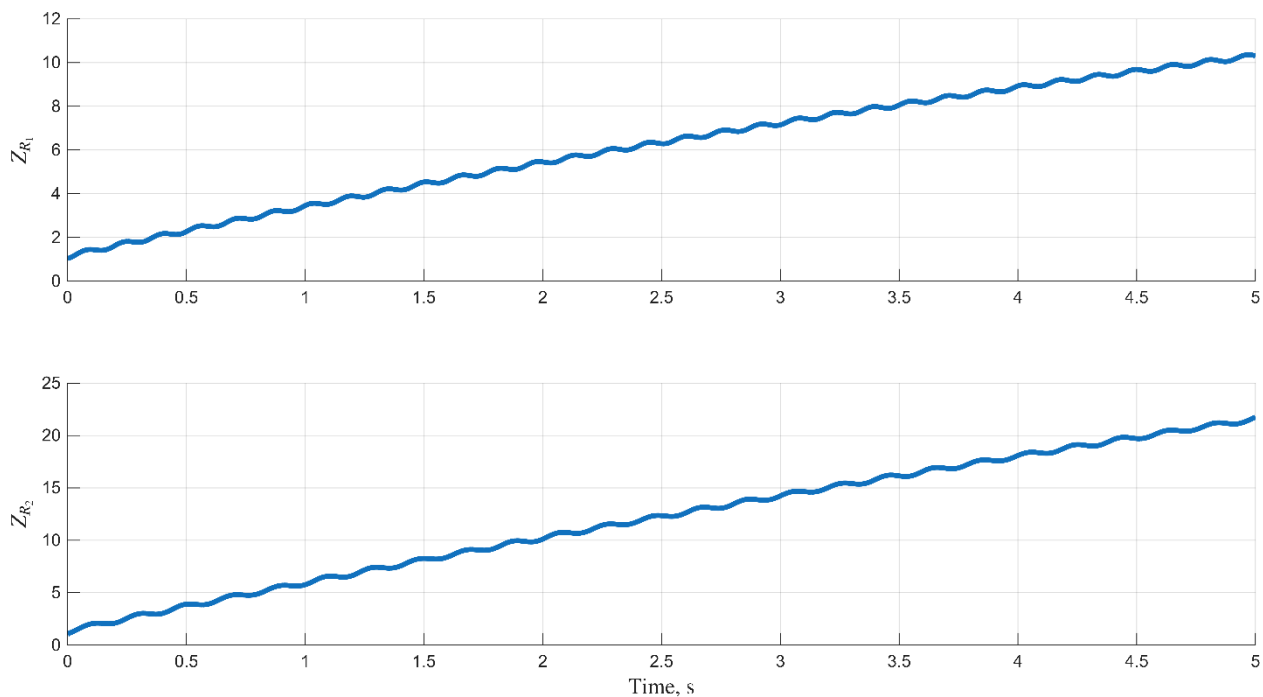


Рисунок 18. Положение первого и второго сустава

Пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ ) и пара №2 ( $KP = 100$ ,  $KV = 10$ )

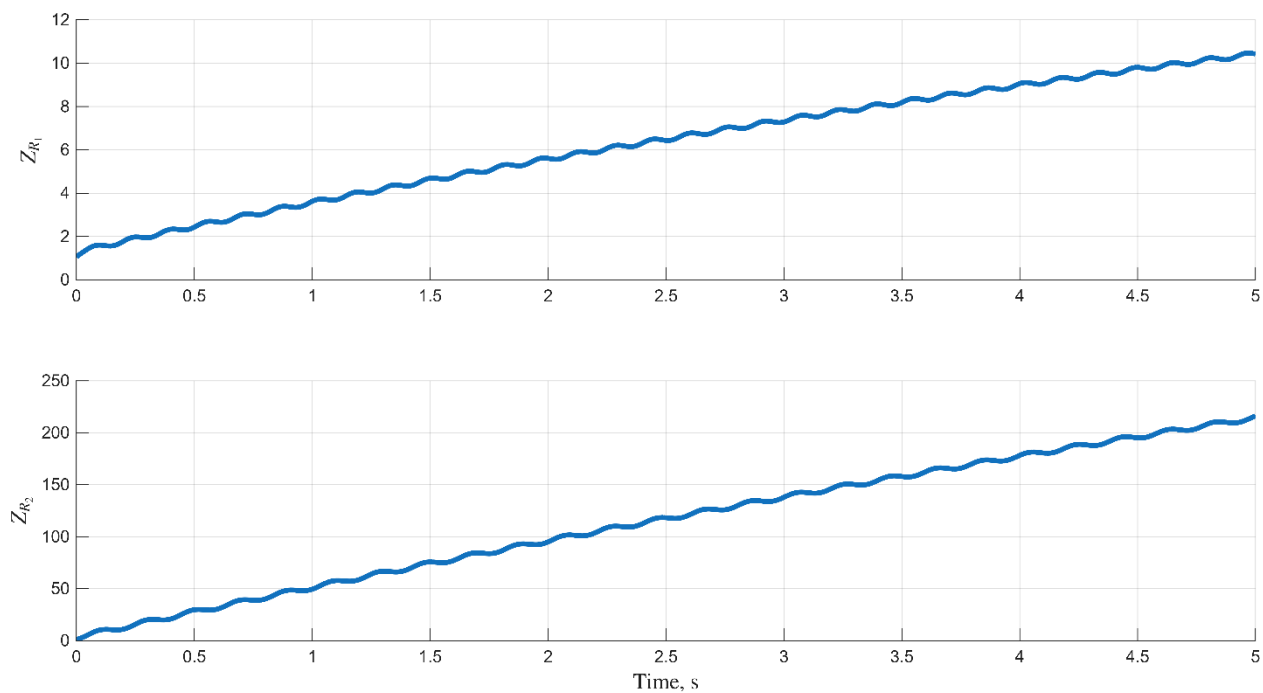


Рисунок 19. Положение первого и второго сустава

*Пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ ) и пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ )*

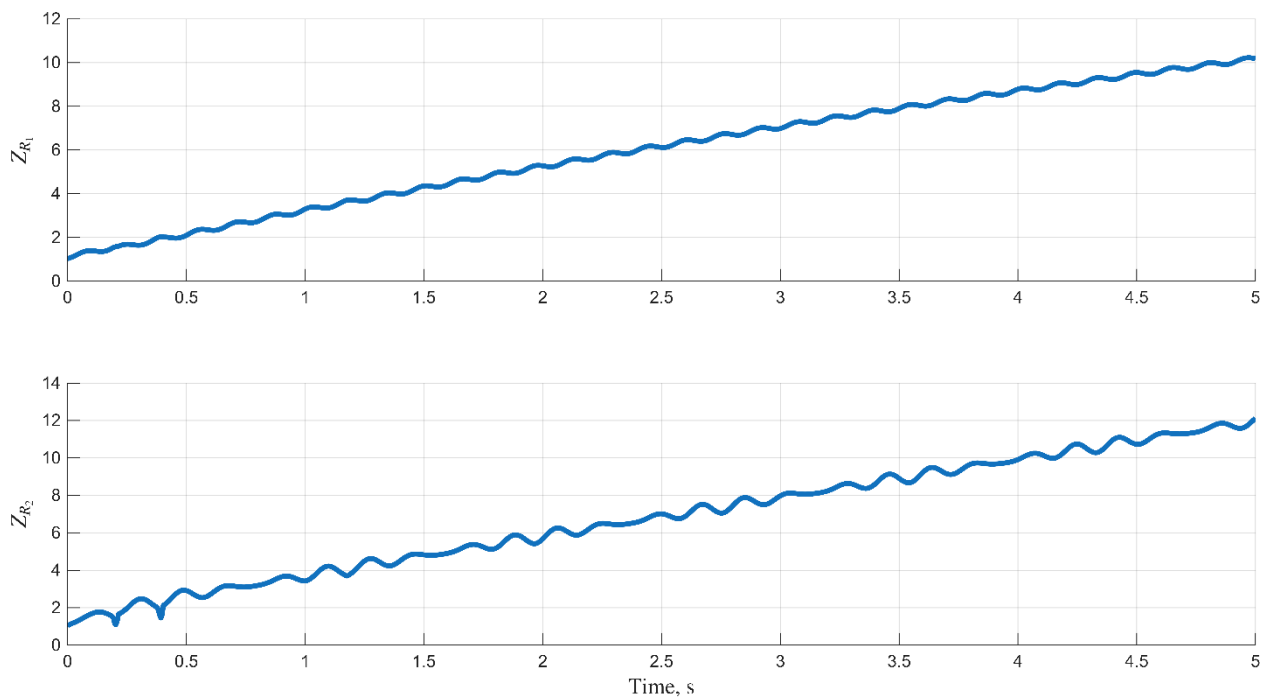


Рисунок 20. Положение первого и второго сустава

*Пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ ) и пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ )*

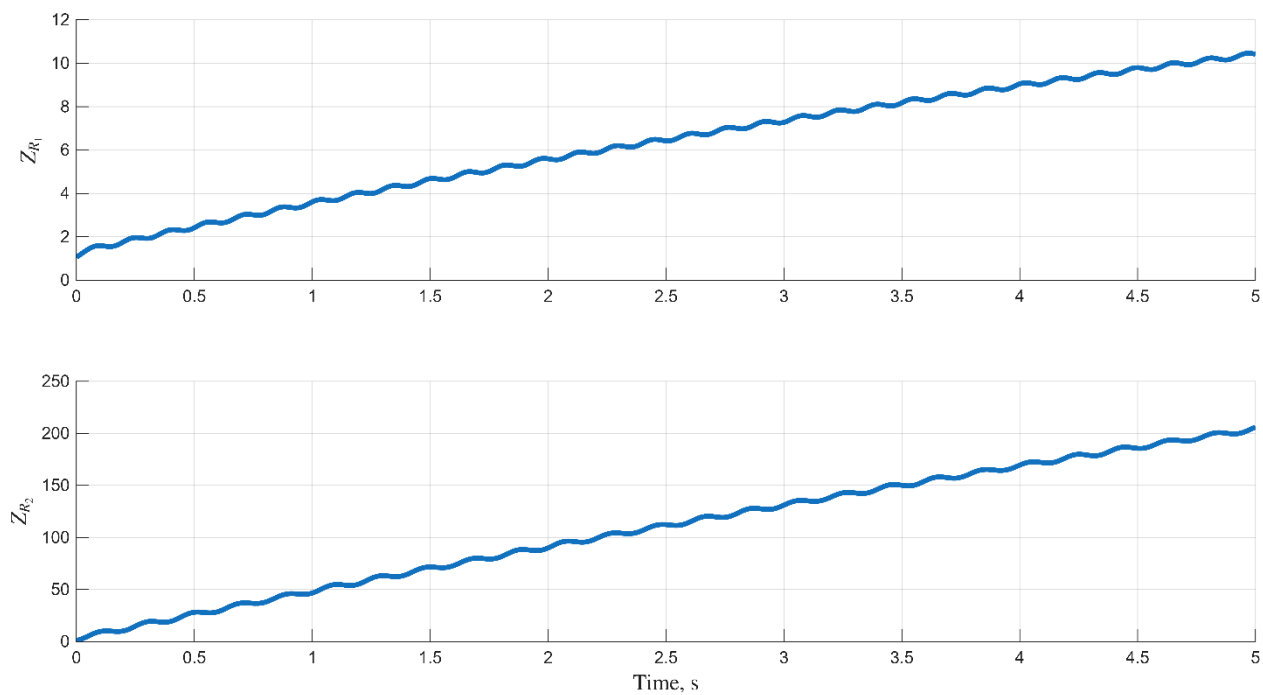


Рисунок 21. Положение первого и второго сустава

Пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ ) и пара №1 ( $KP = 10$ ,  $KV = 10$ )

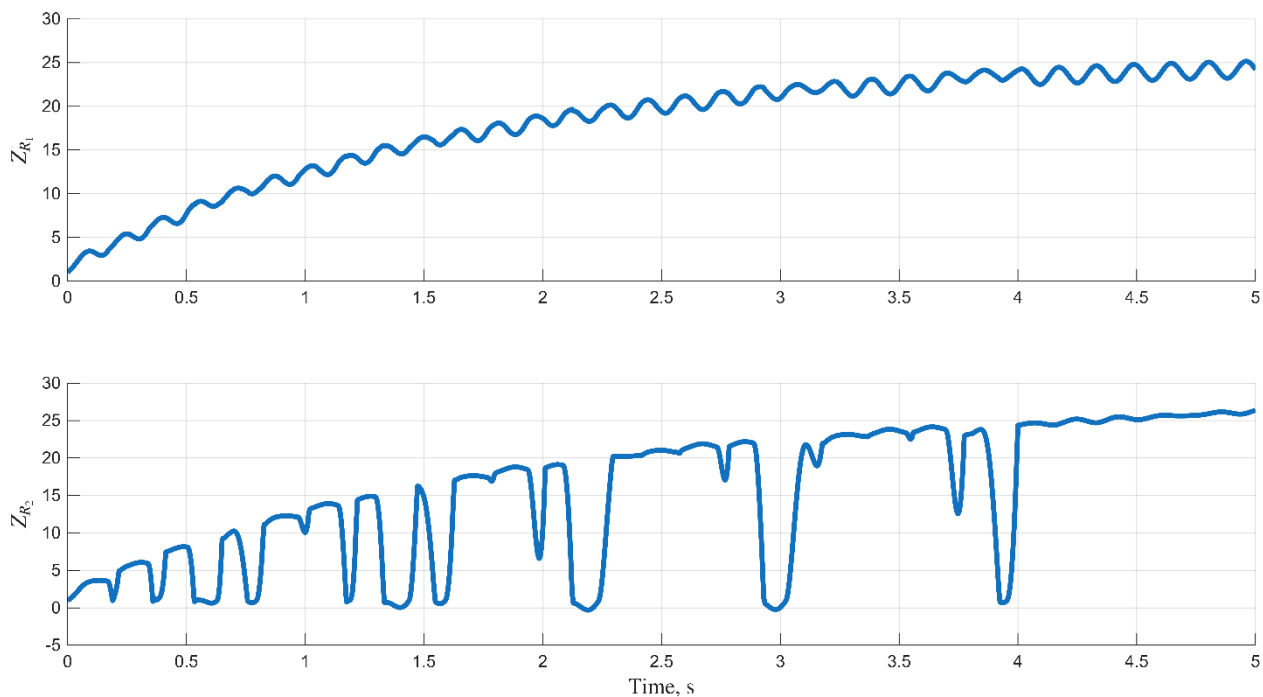


Рисунок 22. Положение первого и второго сустава

Пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ ) и пара №2 ( $KP = 100$ ,  $KV = 10$ )

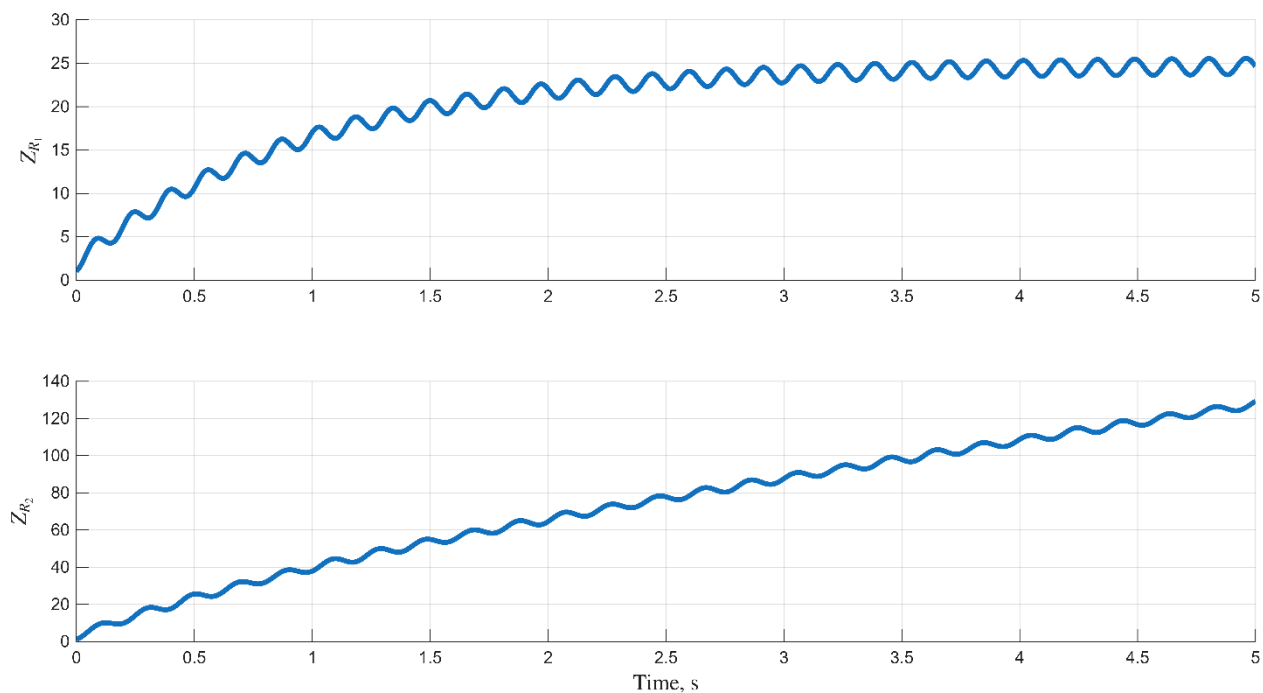


Рисунок 23. Положение первого и второго сустава

Пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ ) и пара №3 ( $KP = 10$ ,  $KV = 100$ )

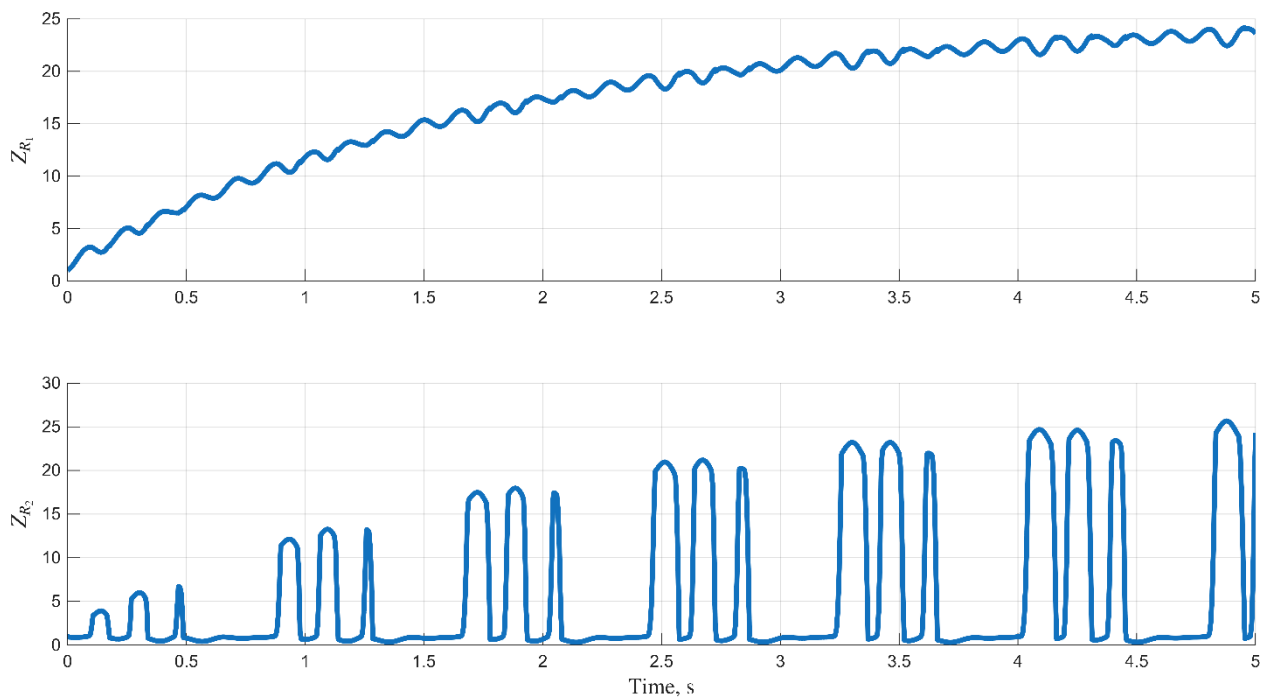


Рисунок 24. Положение первого и второго сустава

Пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ ) и пара №4 ( $KP = 100$ ,  $KV = 100$ )

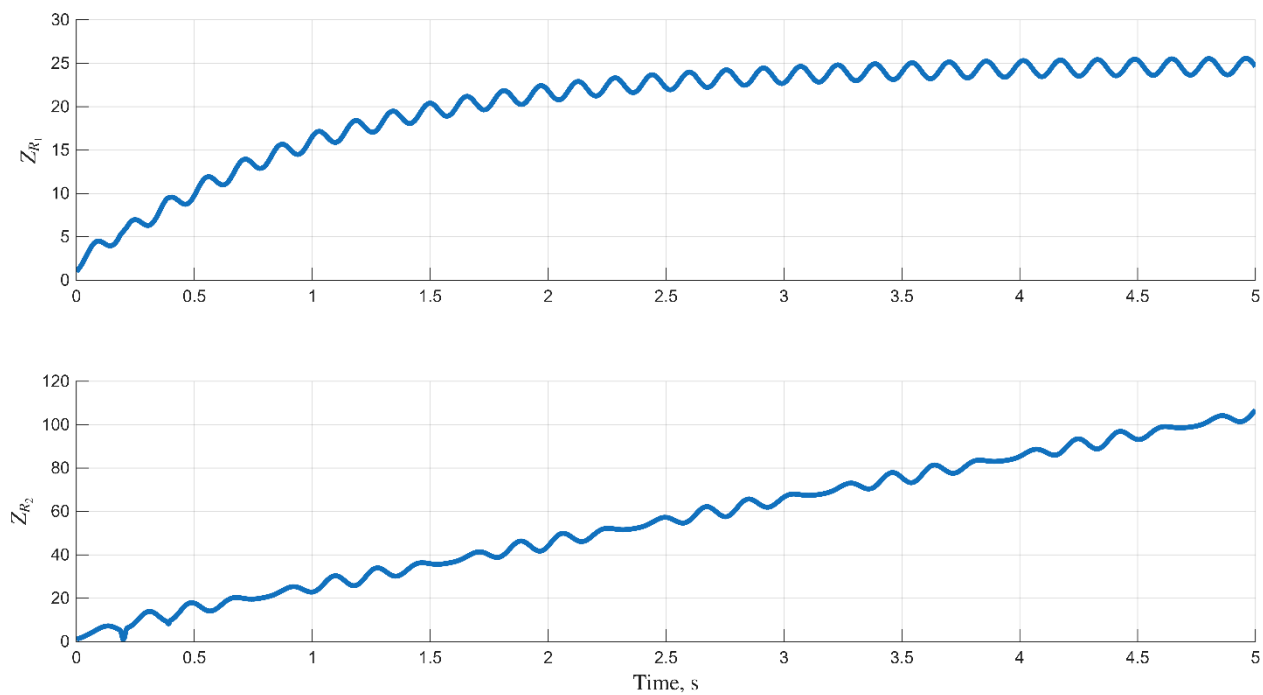


Рисунок 25. Положение первого и второго сустава

## 4. Выводы

При управлении первым суставом были замечены следующие закономерности: чем выше параметр КР, тем выше поднимался первый сустав, а его амплитуда колебаний увеличивалась. Положение второго сустава тоже усиливалось, но колебания не менялись. При увеличении параметра КV амплитуда первого сустава сокращалась, как и значения по оси Z для обоих суставов. При одинаково больших значениях этих двух параметров, положение первого сустава всё ещё имело низкую амплитуду, но достигала положений выше.

При управлении вторым суставом наблюдаются те же закономерности, но с одним отличием: второй сустав способен достигать гораздо больших значений по оси Z в сравнении с первым суставом.

При исследовании управления уже двумя суставами, были видны зависимости одного от другого. Так, наличие большого параметра КР у второго сустава приводило к тому, что первый сустав достигал определённой точки равновесия, возле которой продолжал колебаться (рисунки 11, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 25). При наличии большого коэффициента КV на первом суставе сильно замедляли систему, не давая ей прийти к точки равновесия за отведённое время (рисунки 18-21). Наличие большого коэффициента КР и первого сустава и маленького КР у второго (рисунки 14, 16, 22, 24), а также при равном КР, но превалирующим КV у второго сустава (рисунки 12, 17) приводили к резким скачкам последнего.

## 5. Приложения

*Приложение №1. Схема XML*

```
<mujoco>

  <option timestep="1e-4"/>
  <option gravity="0 0 -9.8"/>

  <asset>
    <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5" width="265" height="256"/>
    <texture name="grid" type="2d" builtin="checker" rgb1="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6" width="300" height="300"/>
    <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10 10" reflectance="0.2"/>
  </asset>
  <worldbody>

    <camera name="upper view" pos="0 0 1" euler="90 0 0"/>

    <body name = "wall" pos = "0 0 1" euler = "0 90 0">
      <geom type="plane" size="0.2 0.1 0.2" material="grid"/>
      <site name = "beginning1" pos = "0.031 0 0"/>
      <site name = "beginning2" pos = "-0.031 0 0"/>
      <site name = "end1" pos = "0.021 0 0.257"/>
      <site name = "end2" pos = "-0.021 0 0.257"/>
    </body>
```

```

<body name = "R1" pos="0.085 0 1">
  <joint name = "jointR1" type="slide" axis = "0 0 1"/>
  <geom type = "ellipsoid" size = "0.031 0.01 0.031"/>
  <site name="R1_site" pos="0 0 0"/>

  <site name = "corner1up" pos = "0 0 0.031" size = "0.005"/>
  <site name = "corner1upleft" pos = "-0.01 0 0.031" size = "0.005"/>
  <site name = "corner1upright" pos = "0.01 0 0.031" size = "0.005"/>

  <site name = "corner1down" pos = "0 0 -0.031" size = "0.005"/>
  <site name = "corner1downleft" pos = "-0.01 0 -0.031" size =
"0.005"/>
  <site name = "corner1downright" pos = "0.01 0 -0.031" size =
"0.005"/>
</body>

<body name = "R2" pos="0.175 0 1">
  <joint name = "jointR2" type="slide" axis = "0 0 1"/>
  <geom type = "ellipsoid" size = "0.021 0.01 0.021"/>
  <site name="R2_site" pos="0 0 0"/>

  <site name = "corner2up" pos = "0 0 0.021" size = "0.005"/>
  <site name = "corner2upleft" pos = "-0.01 0 0.021" size = "0.005"/>
  <site name = "corner2upright" pos = "0.01 0 0.021" size = "0.005"/>

  <site name = "corner2down" pos = "0 0 -0.021" size = "0.005"/>
  <site name = "corner2downleft" pos = "-0.01 0 -0.021" size =
"0.005"/>
  <site name = "corner2downright" pos = "0.01 0 -0.021" size =
"0.005"/>
</body>
</worldbody>

<tendon>
  <spatial name="tendon1" width="0.001" springlength="0.1" damping="10"
rgba = "255 0 0 0.55">
    <site site = "beginning2"/>

    <site site = "corner1upleft"/>
    <site site = "corner1up"/>
    <site site = "corner1upright"/>

    <site site = "corner2downleft"/>
    <site site = "corner2down"/>
    <site site = "corner2downright"/>

    <site site = "end1"/>
  </spatial>
</tendon>

```



```

    <tendon>
      <spatial name="tendon2" width="0.001" springlength="0.1" damping="10"
      rgba = "0 255 0 0.55">>
        <site site = "beginning1"/>

        <site site = "corner1downleft"/>
        <site site = "corner1down"/>
        <site site = "corner1downright"/>

        <site site = "corner2upleft"/>
        <site site = "corner2up"/>
        <site site = "corner2upright"/>

        <site site = "end2"/>
      </spatial>
    </tendon>

    <actuator>
      <position name="For R1" joint="jointR1"/>
      <position name="For R2" joint="jointR2"/>
    </actuator>

    <sensor>
      <framepos objtype="body" objname="R1"/>
      <framepos objtype="body" objname="R2"/>
    </sensor>

</mujoco>

```

## Приложение №2. Код Python

```

import mujoco
import mujoco_viewer
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
import os
import mujoco.viewer
import time

f1 = "MujocoLab3.xml"

model = mujoco.MjModel.from_xml_path(f1)
data = mujoco.MjData(model)

def set_torque(mj_data, KP, KV, theta):
    data.ctrl[1] = KP * (-mj_data.qpos[0] + theta) + KV * (0 - mj_data.qvel[0])

SIMEND = 100

```

```

TIMESTEP = 0.001
STEP_NUM = int(SIMEND / TIMESTEP)
timeseries = np.linspace(0, SIMEND, STEP_NUM)

FREQ = 3.99 # [Hz]
AMP = 37.89 # [rad]
BIAS = 24 # [rad]

theta_des1 = AMP * np.sin(FREQ * timeseries) + BIAS

FREQ = 3.19 # [Hz]
AMP = 52.89 # [rad]
BIAS = 40.4 # [rad]

theta_des2 = AMP * np.sin(FREQ * timeseries) + BIAS

position_time = []

R1_position_x = []
R1_position_z = []

R2_position_x = []
R2_position_z = []

theta_des1_trajectory = []
theta_des2_trajectory = []

viewer = mujoco_viewer.MujocoViewer(model,
                                     data,
                                     title="tendons",
                                     width=1920,
                                     height=1080)

for i in range(STEP_NUM):
    if viewer.is_alive:
        set_torque1(data, 100, 100, theta_des1[i])
        set_torque2(data, 100, 100, theta_des2[i])

        current_time = data.time
        position_time.append(current_time)

        position_R1 = data.site_xpos[5]
        R1_position_x.append(position_R1[0])
        R1_position_z.append(position_R1[2])

        position_R2 = data.site_xpos[12]
        R2_position_x.append(position_R2[0])
        R2_position_z.append(position_R2[2])

        theta_des1_trajectory.append(theta_des1[i])
        theta_des2_trajectory.append(theta_des2[i])

```

```
        mujoco.mj_step(model, data)
        viewer.render()

    else:
        break
viewer.close()

midlength = int(STEP_NUM/2)

df = pd.DataFrame({
    'time': position_time,
    'R1_x': R1_position_x,
    'R1_z': R1_position_z,
    'R2_x': R2_position_x,
    'R2_z': R2_position_z,
    'theta_des1': theta_des1,
    'theta_des2': theta_des2
})

csv_filename = "Task4_positions_data.csv"
df.to_csv(csv_filename, index=False)
```