

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
(Университет ИТМО)

Факультет систем управления и робототехники

Практическая работа №3
по дисциплине
«Имитационное моделирование робототехнических систем»

ID 506527

Студен:

Группа R4136с

Воронцов К.В.

Преподаватель:

Ассистент

Е.А. Ракшин

Санкт-Петербург 2025 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

- К модели, которая была создана в предыдущем задании, нужно добавить приводы. Для тензорного механизма — два привода (q_1 и q_2).
- Измените файл .xml, добавив <actuator> и <sensor> контейнеры (см. примеры в предыдущем задании).
- Определите управляющее усилие с помощью ПИД-регулятора. $q_{des} = AMP \cdot \sin(FREQ \cdot t) + BIAS$. Посмотрите в таблице параметры синусоидальной волны.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
#	Имя/Name	ИСУ/ISU	q1			q2		
			AMP, deg	FREQ, Hz	BIAS, deg	AMP, deg	FREQ, Hz	BIAS, deg
0	EXAMPLE	-	35.27	3.56	-42	29.36	3.68	-17.6
1	Абраменко Анастасия Сергеевна	505887	10.51	3.47	24	43.81	3.58	21.5
2	Агафонов Алексей Андреевич	506644	16.77	2.1	34.8	35.87	2.39	-32.5
3	Альмахмуд Ахмад	475769	17.49	1.24	-8.7	55.54	2.05	-15.2
4	Амансахедов Мянлигулы Мердангулыевич	507137	21.06	1.87	38.5	46.78	3.65	40.8
5	Байдаченко Степан Николаевич	506287	36.58	2.35	0.4	10.8	2.7	22.4
6	Балакин Алексей Романович	336378	27.19	3.79	-42.1	18.73	3.11	42.4
7	Белова Ксения Денисовна	506633	32.02	2.41	8.9	47.3	2.71	-21.5
8	Бойко Максим Олегович	507378	44.74	3.51	4.5	33.83	2.48	-18.9
9	Верховенский Иван Денисович	506505	20.39	2.93	24	11.9	3.71	3.3
10	Взглядов Захар Евгеньевич	507015	36.03	2.14	-27.5	46.29	3.03	-41.9
11	Воробьев Роман Геннадьевич	369645	57.7	3.56	-25.3	31.75	2.96	4.8
12	Воронин Вячеслав Сергеевич	312440	25.58	1.03	-42.6	58.7	3.76	-44.3
13	Воронцов Константин Владимирович	506527	34.75	2.08	-25.8	41.02	2.79	37.9

КОД И МОДЕЛЬ.

Два файла один отвечает за построение сцены, света и модель, а второй нужен для отработки регулятора и запуска всего кода.

Файл .py

```
1 # Your first line of Python code
2 import mujoco
3 import mujoco.viewer
4 import numpy as np
5 import matplotlib.pyplot as plt
6 model = mujoco.MjModel.from_xml_path('tir6.xml')
7 data = mujoco.MjData(model)
8
9 EE_pose_x = []
10 EE_pose_y = []
11 actual_q1 = []
12 actual_q2 = []
13 error_q1 = []
14 error_q2 = []
15
16
17 SIMEND = 10.0
18 TIMESTEP = 0.001
19 STEP_NUM = int(SIMEND / TIMESTEP)
20 timeseries = np.linspace(0, SIMEND, STEP_NUM)
21
22 FREQ1, AMP1, BIAS1 = 2.08, np.deg2rad(34.75), np.deg2rad(-25.8)
23 FREQ2, AMP2, BIAS2 = 2.79, np.deg2rad(41.02), np.deg2rad(37.9)
24
25 theta_des_q1 = AMP1 * np.sin(FREQ1 * timeseries) + BIAS1
26 theta_des_q2 = AMP2 * np.sin(FREQ2 * timeseries) + BIAS2
27 # Для q1
28 KP1, KI1, KV1 = 6, 2.4, 3.75
29
```

```

30 # Для q2
31 KP2, KI2, KV2 = 3, 3, 0.75
32
33 integral_q1 = integral_q2 = 0.0
34
35 end_site_id = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_SITE, "sens"
36
37 with mujoco.viewer.launch_passive(model, data) as viewer:
38     for i in range(STEP_NUM):
39         if viewer.is_running():
40             err1 = theta_des_q1[i] - data.qpos[0]
41             integral_q1 += err1 * TIMESTEP
42             derivative1 = -data.qvel[0]
43             torque1 = KP1 * err1 + KI1 * integral_q1 + KV1 * derivative
44
45             err2 = theta_des_q2[i] - data.qpos[1]
46             integral_q2 += err2 * TIMESTEP
47             derivative2 = -data.qvel[1]
48             torque2 = KP2 * err2 + KI2 * integral_q2 + KV2 * derivative
49
50             data.ctrl[0] = torque1
51             data.ctrl[1] = torque2
52
53             pos_EE = data.site_xpos[end_site_id]
54             EE_pose_x.append(pos_EE[0])
55             EE_pose_y.append(pos_EE[2])
56             actual_q1.append(data.qpos[0])
57             actual_q2.append(data.qpos[1])
58             error_q1.append(err1)

```

```

59         error_q2.append(err2)
60
61         mujoco.mj_step(model, data)
62         viewer.sync()
63     else:
64         break
65
66 fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(14, 10))
67 axs[0, 0].plot(EE_pose_x, EE_pose_y, 'b-', linewidth=1.5)
68 axs[0, 0].set_title('End-effector Trajectory')
69 axs[0, 0].set_xlabel('X [m]'); axs[0, 0].set_ylabel('Z [m]')
70 axs[0, 0].axis('equal'); axs[0, 0].grid(True)
71
72 axs[0, 1].plot(timeseries[:len(error_q1)], np.rad2deg(error_q1), 'r-',
73 axs[0, 1].set_title(f'Error q1 (KP={KP1}, KI={KI1}, KV={KV1})')
74 axs[0, 1].set_xlabel('Time [s]'); axs[0, 1].set_ylabel('Error [deg]')
75 axs[0, 1].grid(True); axs[0, 1].axhline(0, color='k', linestyle='--', a
76 axs[1, 0].plot(timeseries[:len(error_q2)], np.rad2deg(error_q2), 'g-',
77 axs[1, 0].set_title(f'Error q2 (KP={KP2}, KI={KI2}, KV={KV2})')
78 axs[1, 0].set_xlabel('Time [s]'); axs[1, 0].set_ylabel('Error [deg]')
79 axs[1, 0].grid(True); axs[1, 0].axhline(0, color='k', linestyle='--', a
80
81 axs[1, 1].plot(timeseries[:len(theta_des_q1)], np.rad2deg(theta_des_q1)
82 axs[1, 1].plot(timeseries[:len(actual_q1)], np.rad2deg(actual_q1), 'b-'
83 axs[1, 1].set_title('q1: Desired vs Actual')
84 axs[1, 1].set_xlabel('Time [s]'); axs[1, 1].set_ylabel('Angle [deg]')
85 axs[1, 1].legend(); axs[1, 1].grid(True)
86
87 plt.tight_layout()

```

```

82 axs[1, 1].plot(timeseries[:len(actual_q1)], np.rad2deg(actual_q1), 'b-'
83 axs[1, 1].set_title('q1: Desired vs Actual')
84 axs[1, 1].set_xlabel('Time [s]'); axs[1, 1].set_ylabel('Angle [deg]')
85 axs[1, 1].legend(); axs[1, 1].grid(True)
86
87 plt.tight_layout()
88 plt.show()
89
90 print(f"Макс ошибка q1: {np.rad2deg(np.max(np.abs(error_q1))):.2f}°")
91 print(f"Макс ошибка q2: {np.rad2deg(np.max(np.abs(error_q2))):.2f}°")
92 print("Симуляция завершена")
93

```

Файл .xml (MuJoCo)

```
1 # Your first line of Python code
2
3 <mujoco model="tendon">
4   <option timestep="1e-3"/>
5   <option gravity="0 0 -9.8"/>
6
7   <asset>
8     <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1
9     <texture name="grid" type="2d" builtin="checker" rg
10    <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10
11  </asset>
12
13  <default>
14    <default class="visual_cylinder">
15      <geom type="cylinder" fromto="0 .015 0 0 -.015 0"
16    </default>
17
18    <default class="visual_cylinder2">
19      <geom type="cylinder" fromto="0 .015 0 0 -.015 0"
20    </default>
21  </default>
22
23  <worldbody>
24    <light pos="0 0 1"/>
25    <light pos="0 0 10"/>
26    <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="gri
27
28    <body name="Mechanism" pos="0 0 0.50" euler="0 0 0"
29      <site name="swallUp1" size="0.005" pos="0.01 0
30      <site name="swallUp2" size="0.005" pos="0.01 0
```

```

27
28     <body name="Mechanism" pos="0 0 0.50" euler="0 0 0"
29         <site name="swallUp1" size="0.005" pos="0.01 0
30         <site name="swallDown1" size="0.005" pos="0.01
31         <geom name="Wall" type="box" pos="0 0 0" size="
32         <geom name="link OA" type="cylinder" pos="0.102
33
34         <body name="AB" pos="0.199 0 0" euler="0 0 0">
35             <site name="swallUp2" size="0.005" pos="0 0
36             <site name="swallDown2" size="0.005" pos="0
37             <joint name="A" type="hinge" axis="0 -1 0"
38             <geom name="g1" class="visual_cylinder"/>
39             <geom name="link AB" type="cylinder" pos="0
40
41             <body name="BC" pos="0.092 0 0" euler="0 0
42                 <joint name="B" type="hinge" axis="0 -1
43                 <site name="swallUp3" size="0.005" pos=
44                 <site name="swallDown3" size="0.005" po
45                 <geom name="g2" class="visual_cylinder2
46                 <geom name="link BC" type="cylinder" po
47                 <site name="sens" size="0.005" pos="0.1
48                 <geom name="End" type="box" pos="0.136
49                 <site name="swallUp4" size="0.005" pos=
50                 <site name="swallDown4" size="0.005" po
51             </body>
52         </body>
53     </body>
54 </worldbody>
55

```

```

56 <!-- Добавляем актуаторы -->
57 <actuator>
58 |   <!-- Актуатор для шарнира A (q1) -->
59 |   <position name="q1_actuator" joint="A"/>
60 |   <!-- Актуатор для шарнира B (q2) -->
61 |   <position name="q2_actuator" joint="B" />
62 </actuator>
63
64 <!-- Добавляем сенсоры -->
65 <sensor>
66 |   <!-- Позиция и скорость шарнира A (q1) -->
67 |   <framepos objtype="site" objname="sens"/>
68 </sensor>
69 <!-- Тросы -->
70 <tendon>
71 |   <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.002
72 |   |   <site site="sWallUp1"/>
73 |   |   <site site="sWallUp2"/>
74 |   </spatial>
75 |   <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.002
76 |   |   <site site="sWallUp2"/>
77 |   |   <site site="sWallDown3"/>
78 |   </spatial>
79 |   <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.002
80 |   |   <site site="sWallDown3"/>
81 |   |   <site site="sWallDown4"/>
82 |   </spatial>
83 |   <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.002
84 |   |   <site site="sWallDown1"/>

```

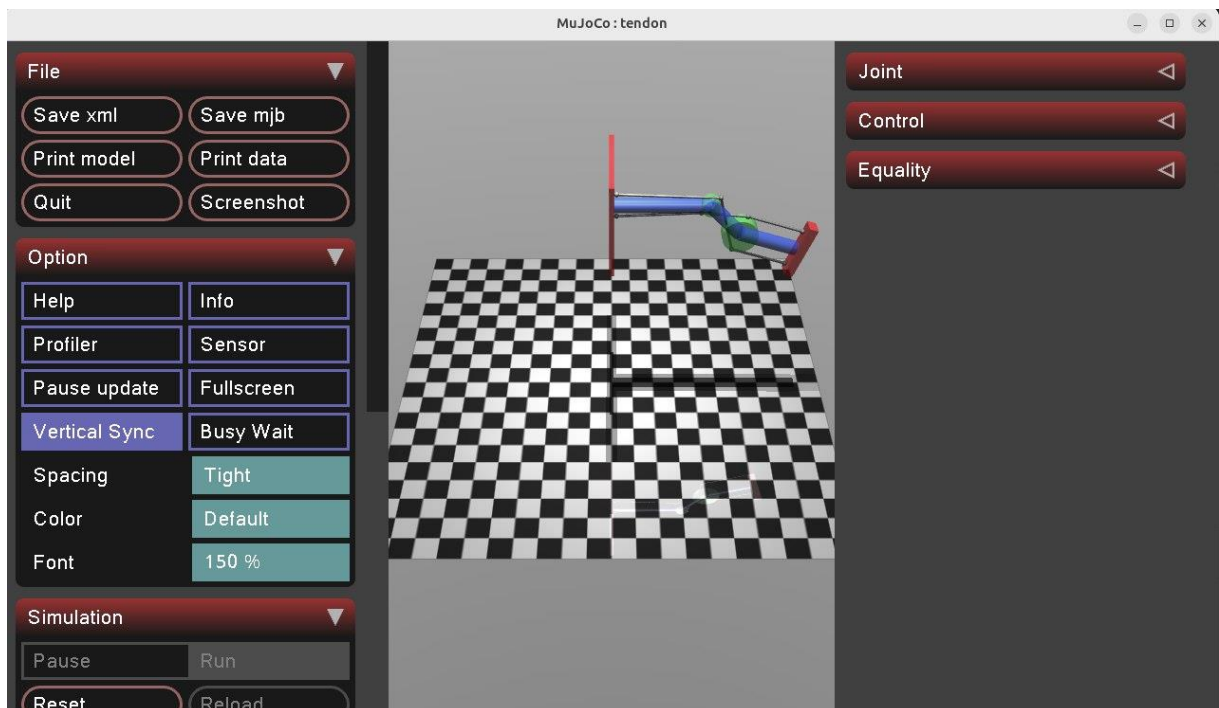
Ln: 97, Col: 1

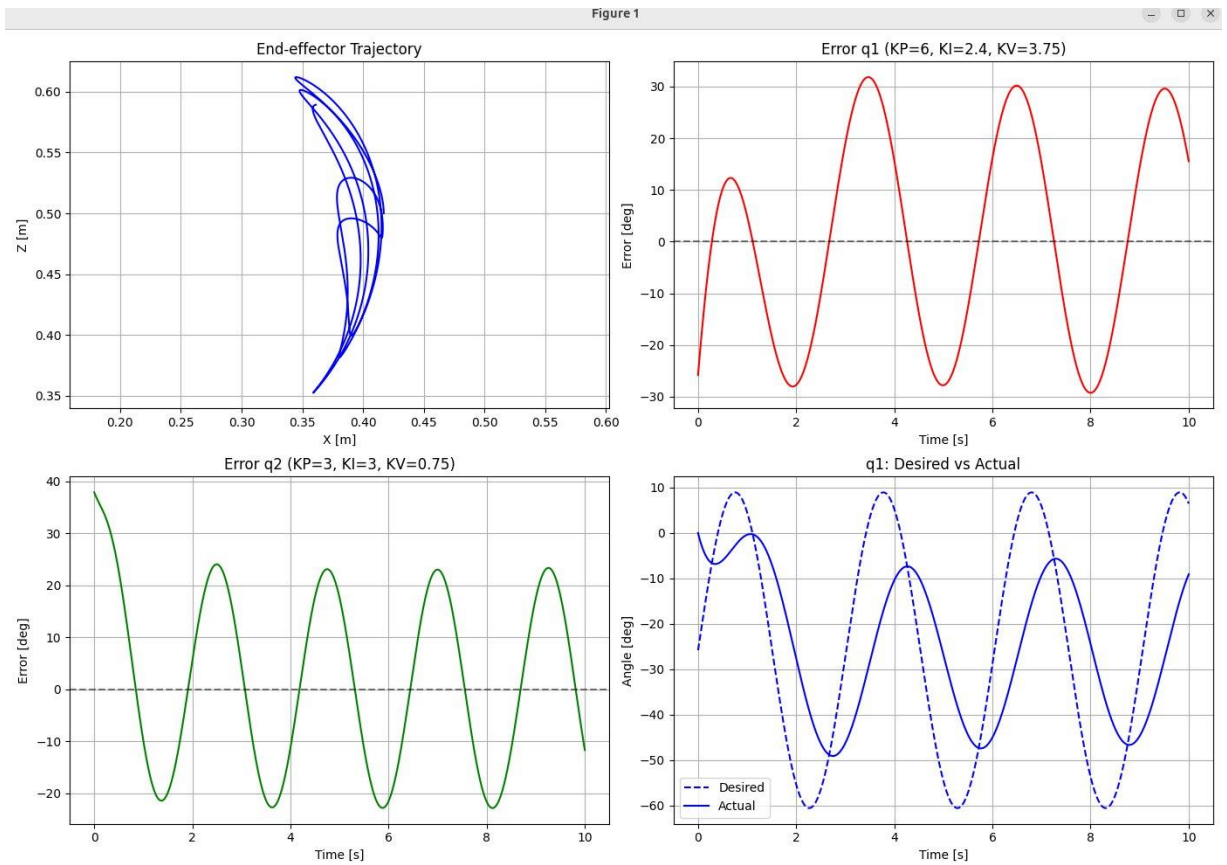

```

76         <site site="swallUp2"/>
77         <site site="swallDown3"/>
78     </spatial>
79     <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.002
80         <site site="swallDown3"/>
81         <site site="swallDown4"/>
82     </spatial>
83     <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.002
84         <site site="swallDown1"/>
85         <site site="swallDown2"/>
86     </spatial>
87     <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.002
88         <site site="swallDown2"/>
89         <site site="swallUp3"/>
90     </spatial>
91 <spatial limited="false" range="0 0.6" width="0.0025">
92     <site site="swallUp3"/>
93     <site site="swallUp4"/>
94 </spatial>
95 </tendon>
96 </mujoco>
97

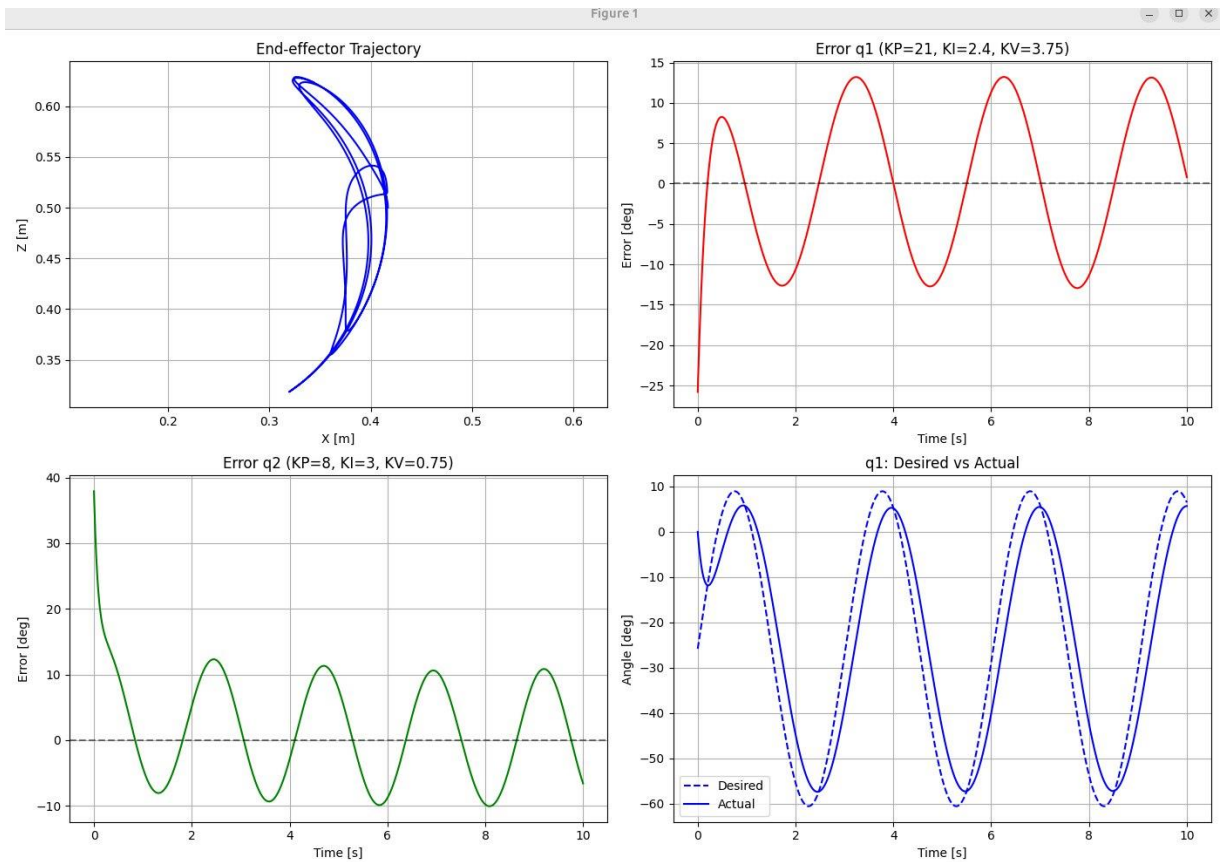
```

Результаты запуска модели





При увеличении КР показатели становятся лучше .



ВЫВОД.

Согласно данным таблицы была построена модель и проверена на работоспособность. Благодаря методу Циглера – Никольса были найдены наиболее оптимальные параметры контроллера.