

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»

Практическая работа №6
«Синтез робастного управления по выходу с компенсацией внешнего
возмущения»
по дисциплине «Моделирование и управление робототехническими системами»

Выполнил:
студент гр. R41341с
Борисов М. В.

Преподаватель:
Каканов М. А.

Санкт-Петербург
2021 г.

Дано

Модель двухзвенного робота

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + F\dot{q} + G(q) = u - \tau_{\text{dist}}, \quad (1)$$

где q , \dot{q} , \ddot{q} — векторы обобщённых координат, скоростей и ускорений соответственно, u — вектор управляющих воздействий, $M(q)$, $C(q, \dot{q})$, F — матрицы инерции, кориолисовых-центробежных сил и вязкого трения соответственно, $G(q)$ — вектор гравитационных сил, τ_{dist} — вектор моментов внешних сил.

Моменты внешних сил

$$\tau_{\text{dist}}(t) = \begin{bmatrix} C_{\text{dist}, 1} + A_{\text{dist}, 1} \sin(\omega_{\text{dist}, 1}t + \psi_{\text{dist}, 1}) \\ C_{\text{dist}, 2} + A_{\text{dist}, 2} \sin(\omega_{\text{dist}, 2}t + \psi_{\text{dist}, 2}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Задающий сигнал

$$q_{\text{ref}}(t) = \begin{bmatrix} A_{\text{ref}, 1} \sin(\omega_{\text{ref}, 1}t + \psi_{\text{ref}, 1}) \\ A_{\text{ref}, 2} \sin(\omega_{\text{ref}, 2}t + \psi_{\text{ref}, 2}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Цель управления

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |q_e(t)| = 0, \quad (4)$$

где $q_e(t) = q(t) - q_{\text{ref}}(t)$ — сигнал ошибки.

Задание

Задание 1 Синтез робастного регулятора

Допущение 1 Робот не подвержен влиянию внешних возмущений, $\tau_{\text{dist}} = 0$.

Закон управления

$$u = \bar{u} = \text{sat}_N M_0 \left(-\sigma - K\hat{\xi} + u_{\text{ff}} \right), \quad (5)$$

где N — предел насыщения контура управления, K — матрица положительных коэффициентов, u_{ff} — управление по прямой связи, M_0 — обратимая матрица приближённого момента инерции объекта, $\hat{\xi}$, σ — состояние расширенного наблюдателя.

Требуется провести численное моделирование замкнутой системы (1), (5) в режиме слежения за траекторией (3) с обеспечением цели управления (4).

Задание 2 Синтез внутренней модели

Ослабим Допущение 1 и построим робастный регулятор по выходу с компенсацией внешних возмущений.

Для этого в структуру регулятора добавляется внутренняя модель, компенсирующая влияние внешнего момента.

Требуется провести численное моделирование замкнутой системы (1), (5) с внутренней моделью в режиме слежения за траекторией (3) с обеспечением цели управления (4) и компенсации детерменированных внешних возмущений (2).

Моделирование

Задание 1

В пакете MATLAB соберём систему (1) в виде модели Simulink.

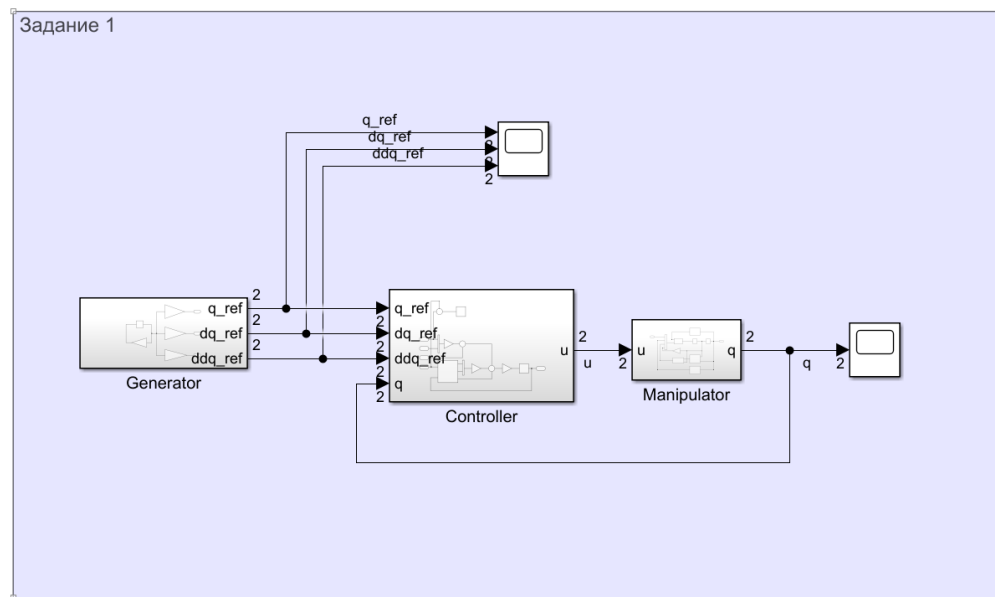


Рис. 1: Общий вид модели в MATLAB

Инициализация всех параметров производится с помощью автоматически вызываемой встроенной функции `InitFcn`, где перечислены необходимые переменные (см. Приложение А).

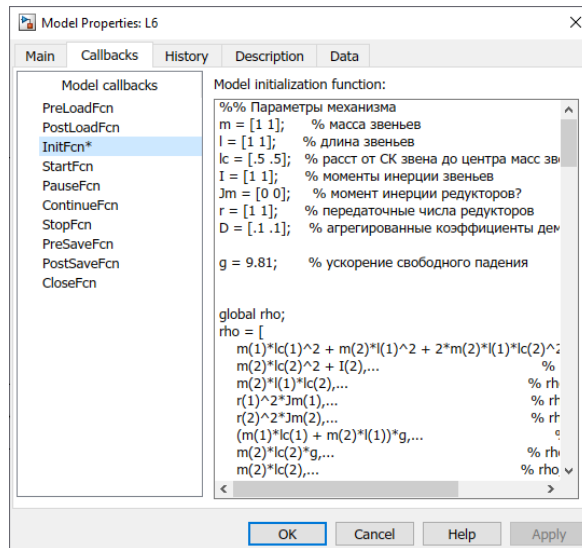


Рис. 2: Окно InitFcn

Модель манипулятора представлена на рисунке 3.

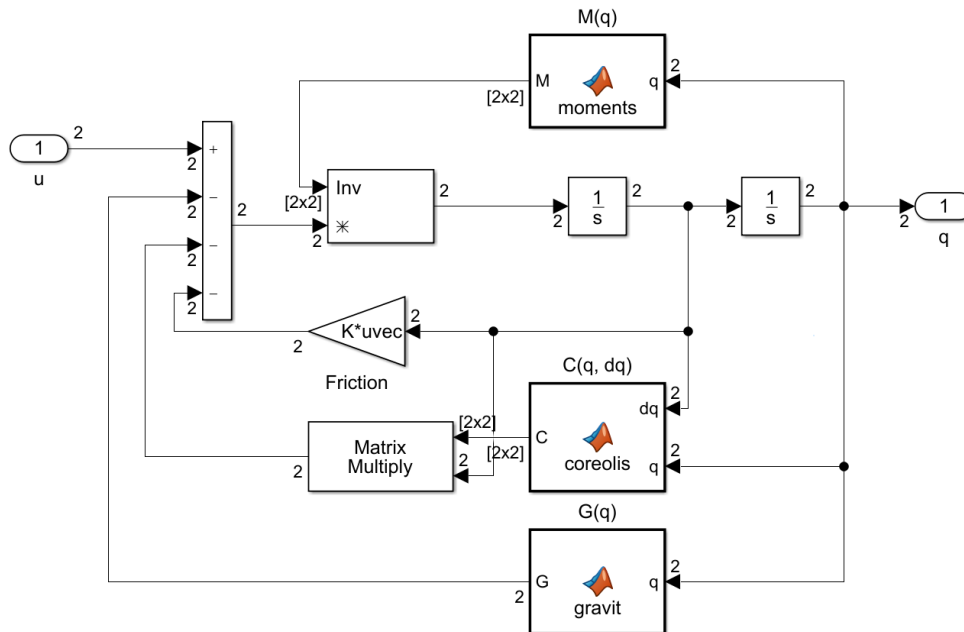


Рис. 3: Модель манипулятора

Модель регулятора представлена на рисунке 4, а расширенный наблюдатель на рисунке 5.

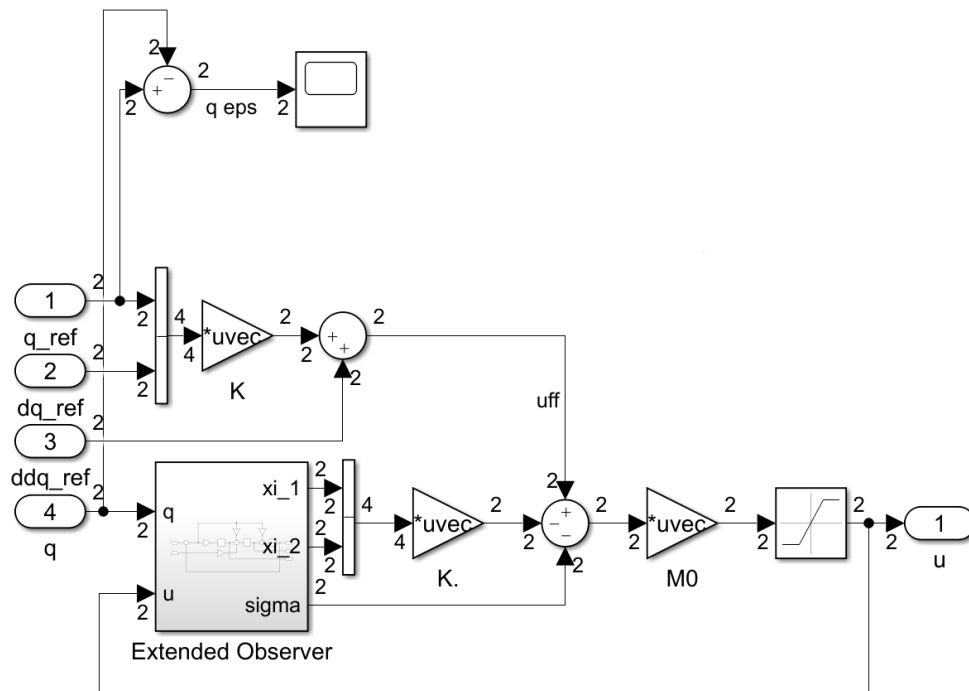


Рис. 4: Модель регулятора

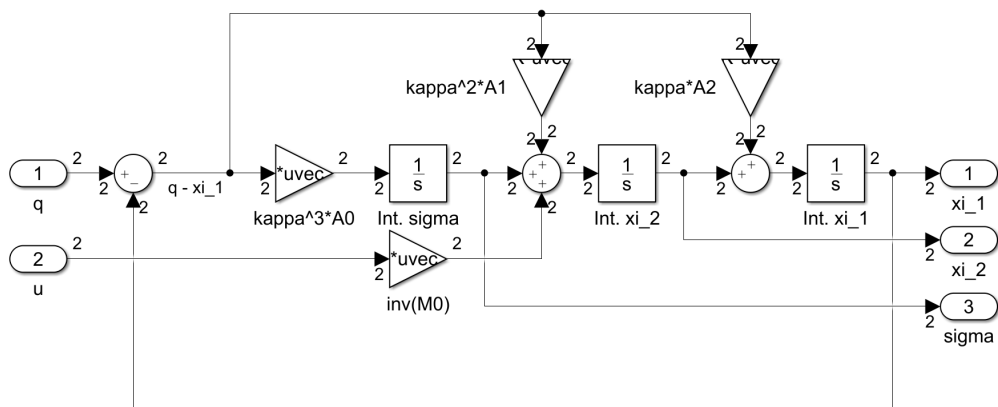


Рис. 5: Расширенный наблюдатель

Генератор задающего воздействия (3) представлен на рисунке 6

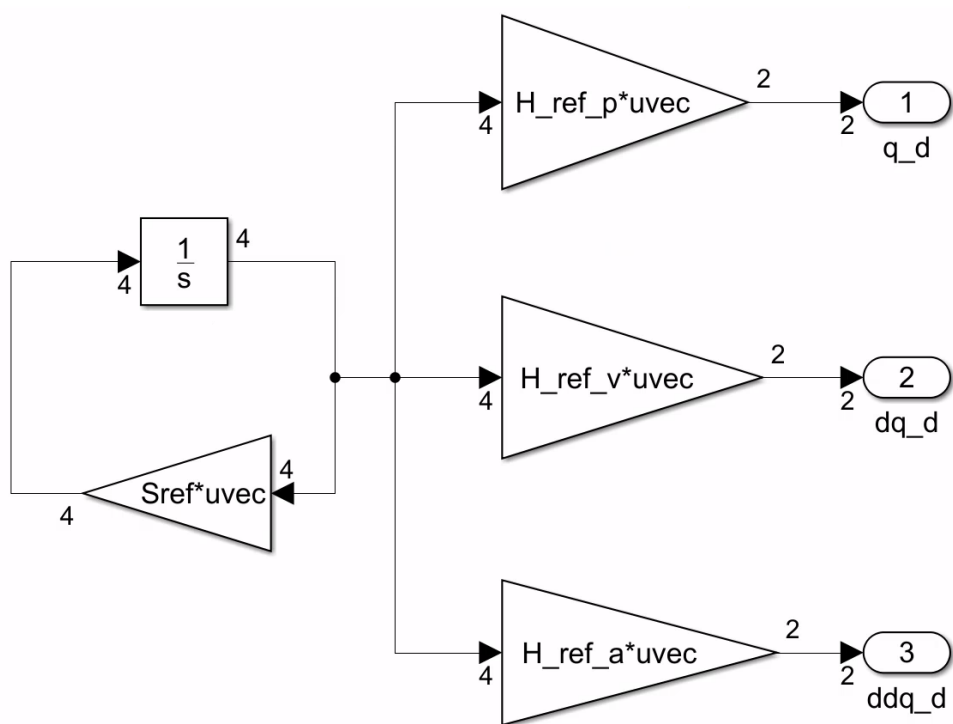


Рис. 6: Модель задающего воздействия

Результат моделирования представлен на рисунке 7. По графику очевидно, что ошибка положения звеньев сходится к нулю и соответственно цель моделирования (4) выполнена.

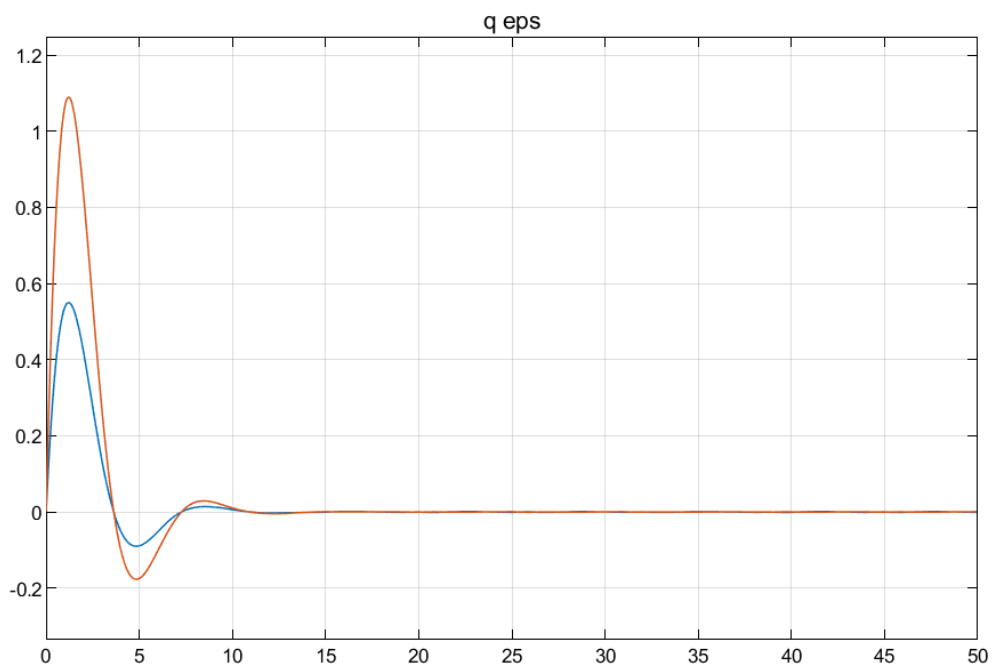


Рис. 7: Ошибка положения системы

Задание 2

Ослабив допущение 1 мы имеем внешнее воздействие на систему и необходимо добавить внутреннюю модель.

Новая модель системы с внешним возмущением и внутренней моделью представлена на рисунке 8.

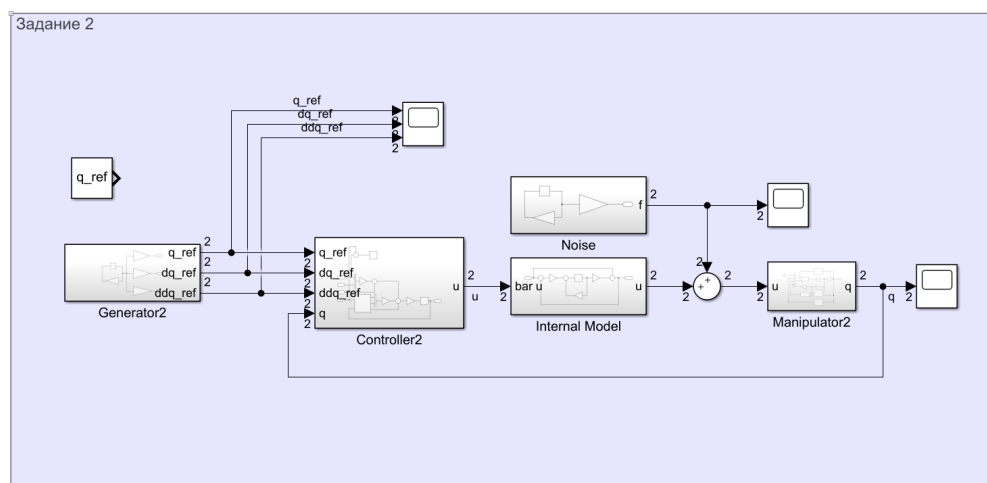


Рис. 8: Общий вид модели

Устройство внутренней модели представлено на рисунке 9.

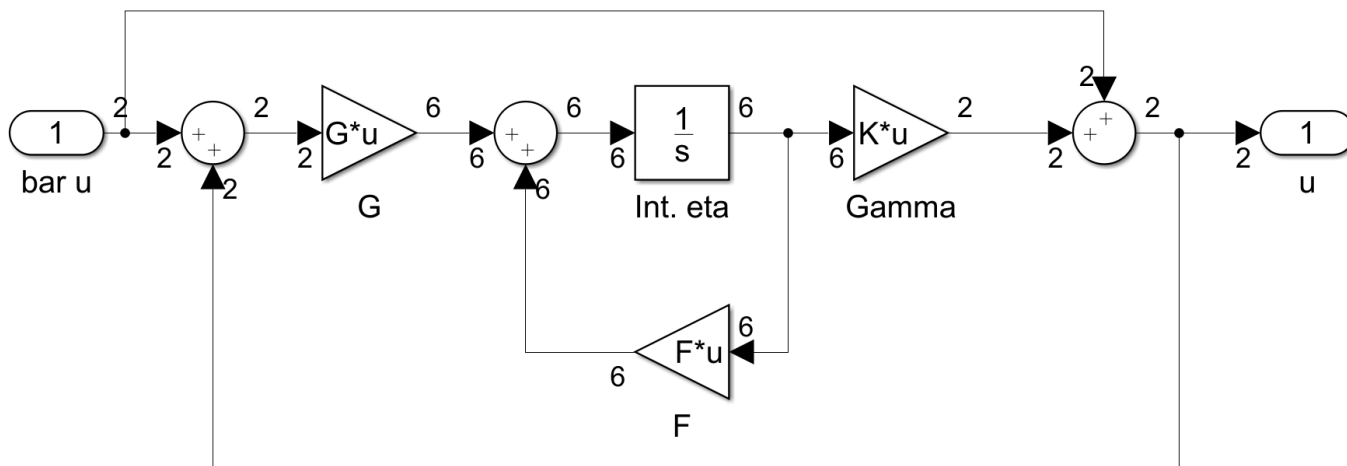


Рис. 9: Внутренняя модель

Генератор внешнего возмущения представлен на рисунке 10

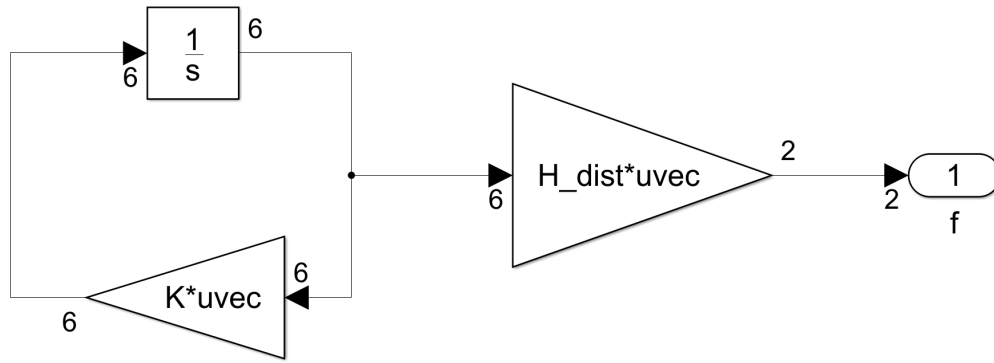


Рис. 10: Генератор внешнего возмущения

Результат моделирования представлен на рисунке 11. По графику очевидно, что ошибка положения звеньев сходится к нулю и соответственно цель моделирования (4) выполнена.

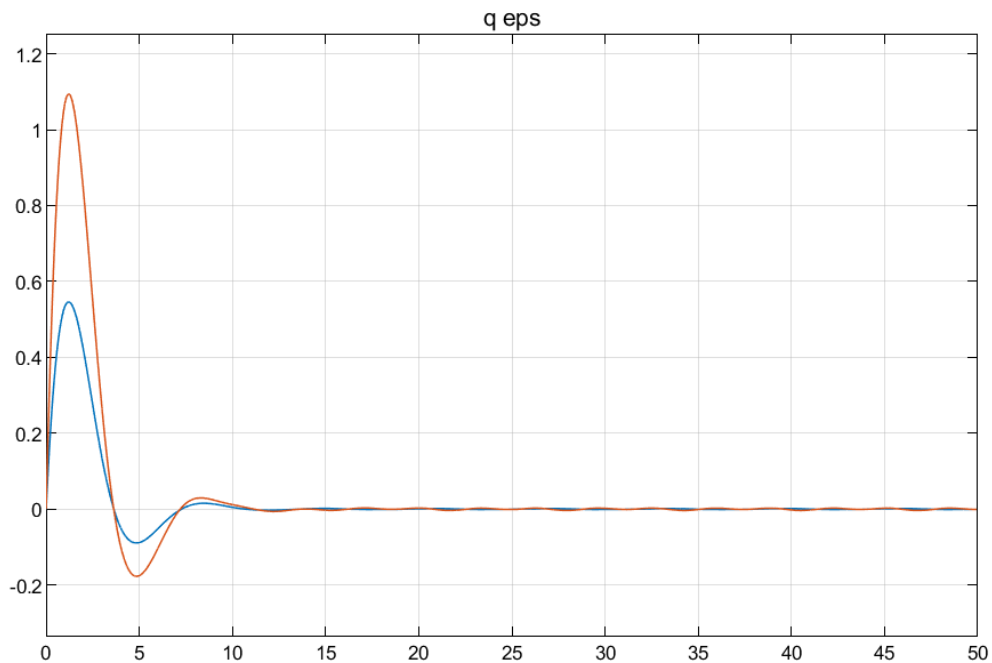


Рис. 11: Ошибка положения системы

Вывод

В работе была промоделирована система управления двухзвенным манипулятором с робастным регулятором.

Результаты моделирования показывают, что использование дополнительной внутренней модели в системе на которую оказывается внешнее детерминированное воздействие позволяет успешно управлять объектом и ошибка положения сходится к нулю так же как и в ситуации без внешнего воздействия.

Приложение А. Параметры инициализации

```
1  %% Параметры механизма
2  m = [1 1];           % масса звеньев
3  l = [1 1];           % длина звеньев
4  lc = [.5 .5];        % расст от СК звена до центра масс звена
5  I = [1 1];           % моменты инерции звеньев
6  Jm = [0 0];          % момент инерции редукторов?
7  r = [1 1];           % передаточные числа редукторов
8  D = [.1 .1];         % агрегированные коэффициенты демпфирования
9
10 g = 9.81;            % ускорение свободного падения
11
12
13 global rho;
14 rho = [
15     m(1)*lc(1)^2 + m(2)*l(1)^2 + 2*m(2)*l(1)*lc(2)^2 + I(1),... %
16     ↪ rho_1
17     m(2)*lc(2)^2 + I(2),... % rho_2
18     m(2)*l(1)*lc(2),... % rho_3
19     r(1)^2*Jm(1),... % rho_4
20     r(2)^2*Jm(2),... % rho_5
21     (m(1)*lc(1) + m(2)*l(1))*g,... % rho_6
22     m(2)*lc(2)*g,... % rho_7
23     m(2)*lc(2),... % rho_8
24     r(1)^2*D(1),... % rho_9
25     r(2)^2*D(2) % rho_10
26 ];
27
28 q_ref = [1 2];
29 c2 = cos(q_ref(2));
30
31 % матрица номинального момента инерции манипулятора
32 M0 = [
33     rho(1) + rho(2) + 2*rho(3)*c2 + rho(4), rho(2) + rho(3)*c2;
34     rho(2) + rho(3)*c2, rho(2) + rho(5);
35 ];
36
37 % матрица вязкого трения
38 Friction = [
39     rho(9) 0;
40     0 rho(10)
41 ];
42
43 %% Параметры генераторов
44 % Задающий блок
45 A_ref = [1 1];        % амплитуды
```

```

46 psi_ref = [0 0];      % фазы
47 omega_ref = [1 2];    % частоты
48
49 w_ref_0 = [
50     A_ref(1)*sin(psi_ref(1)),...
51     omega_ref(1)*A_ref(1)*cos(psi_ref(1)),...
52     A_ref(2)*sin(psi_ref(2)),...
53     omega_ref(2)*A_ref(2)*cos(psi_ref(2))
54 ];
55
56 Sref1 = [
57     0 1;
58     -omega_ref(1)^2 0
59 ];
60 Sref2 = [
61     0 1;
62     -omega_ref(2)^2 0
63 ];
64
65 Sref = blkdiag(Sref1, Sref2);
66
67 H_ref_p1 = [1 0];
68 H_ref_p2 = [1 0];
69 H_ref_p = blkdiag(H_ref_p1, H_ref_p2);
70
71 H_ref_v1 = [0 1];
72 H_ref_v2 = [0 1];
73 H_ref_v = blkdiag(H_ref_v1, H_ref_v2);
74
75 H_ref_a1 = [-omega_ref(1)^2 0];
76 H_ref_a2 = [-omega_ref(2)^2 0];
77 H_ref_a = blkdiag(H_ref_a1, H_ref_a2);
78
79 % Возмущающий блок
80 A_dist = [30 40];      % амплитуды
81 C_dist = [5 6];        % свободный член
82 psi_dist = [7 8];      % фазы
83 omega_dist = [1 2];    % частоты
84
85 w_dist_0 = [
86     C_dist(1);
87     A_dist(1)*sin(psi_dist(1));
88     omega_dist(1)*A_dist(1)*cos(psi_dist(1));
89     C_dist(2);
90     A_dist(2)*sin(psi_dist(2));
91     omega_dist(2)*A_dist(2)*cos(psi_dist(2))
92 ];
93

```

```

94 Sdist1 = [
95     0 0 0
96     0 0 1;
97     0 -omega_dist(1)^2 0
98 ];
99 Sdist2 = [
100     0 0 0
101     0 0 1;
102     0 -omega_dist(2)^2 0
103 ];
104
105 Sdist = blkdiag(Sdist1, Sdist2);
106
107 H_dist_1 = [1 1 0];
108 H_dist_2 = [1 1 0];
109 H_dist = blkdiag(H_dist_1, H_dist_2);
110
111 f = [1 3 3];
112 F_1 = [
113     zeros(2, 1) eye(2);
114     -f
115 ];
116 F_2 = [
117     zeros(2, 1) eye(2);
118     -f
119 ];
120 F = blkdiag(F_1, F_2);
121
122 G_1 = [0 0 1]';
123 G_2 = [0 0 1]';
124 G = blkdiag(G_1, G_2);
125
126 Gamma_1 = f - [0 omega_dist(1)^2 0];
127 Gamma_2 = f - [0 omega_dist(2)^2 0];
128 Gamma = blkdiag(Gamma_1, Gamma_2);
129 %% Параметры регулятора
130 kappa = 1000;
131
132 K = [
133     1 0 1 0;
134     0 1 0 1
135 ];
136
137 N = inf;
138
139 A0 = [
140     30 3;
141     3 30

```

```

142     ];
143     A1 = [
144         30 3;
145         3 30
146     ];
147     A2 = [
148         10 1;
149         1 10
150     ];
151
152     A = [
153         -A2 eye(size(A2)) zeros(size(A2));
154         -A1 zeros(size(A1)) eye(size(A1));
155         -A0 zeros(size(A0)) zeros(size(A0));
156     ];
157     % остальные матрицы зависят от q и объявлены функциями

```