ЛР №11 «H_2 и H_∞»

Отчет

Студент
Кирилл Лалаянц
R33352
336700
Вариант - 11

Преподаватель
Пашенко А.В.

Факультет Систем Управления и Робототехники

ИТМО

24.04.2024

Содержание

1 Вводные данные 1

1.1 Цель работы 1

1.1.1 Программная реализация 1

2 Основная часть 2

2.1 Синтез H2-регулятора по состоянию. 2

2.1.1 Теория 2

2.2 Синтез H_2-регулятора по выходу 10

2.3 Синтез H_∞-регулятора по состоянию. 17

2.4 Синтез H_∞-регулятора по выходу. 27

3 Заключение 37

3.1 Выводы 37

1 Вводные данные

1.1 Цель работы

В этой работе пройдет изучение H_2 и H_∞ регуляторов.

1.1.1 Программная реализация

С исходным кодом можно ознакомиться в репозитории на Github.

2 Основная часть

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B_1 w + B_2 u \\ y = C_1 x + D_1 w \\ z = C_2 x + D_2 u \end{cases}$$

$x = \begin{bmatrix} \text{координата} \\ \text{скорость} \end{bmatrix}; B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ −ускорение тележки; $C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$ −координата тележки;

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; D_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; w \in \mathbb{R}^3 \text{ – шумы системы;}$$

2.1 Синтез H2-регулятора по состоянию.

2.1.1 Теория

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B_1 w + B_2 u \\ z = C_2 x + D_2 u \end{cases}$$

Принято, что $C_2^T D_2 = 0$. Можем синтезировать H_2-регулятор по состоянию ($u = Kx$) следующим образом:

$$\begin{cases} A^T Q + QA + C_2^T C_2 - QB_2(D_2^T D_2)^{-1} B_2^T Q = 0 \\ K = -(D_2^T D_2)^{-1} B_2^T Q \end{cases}$$

Существует $P > 0$ решение уравнения Рикатти, если:

1. $C_2^T D_2 = 0$ ($C_2 C_2^T = Q; D_2^T D_2 = R;$)
2. $D_2 D_2^T$ – обратима
3. (C_2, A) – обнаруживаема

$$||W(s)_{w \to z}||_{H_2} = \sqrt{trace(B_1^T Q B_1)}$$

Пусть $w = [\sin \sin \cos]^T$,

Вариант 1

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}; D_2 = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 1.00 \end{bmatrix};$$

$$C_2^T D_2 = 0 : True$$

$$D_2^T D_2 \text{ обратима} : True$$

$$spec(A - B_2K) = \begin{bmatrix} -1.00 + 0.00j & -1.00 + -0.00j \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 1.00 & 2.00 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1.0i\omega}{-1.0\omega^2+1.0i\omega} & \frac{1.0i\omega}{-1.0\omega^2+1.0i\omega} & 0 \\ -\frac{1.0}{-1.0\omega^2+2.0i\omega+1.0} & \frac{1.0i\omega}{-1.0\omega^2+2.0i\omega+1.0} & 0 \\ -\frac{1.0i\omega}{-1.0\omega^2+2.0i\omega+1.0} & \frac{-2.0i\omega-1.0}{-1.0\omega^2+2.0i\omega+1.0} & 0 \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 1.7320508075688776$$

$$||W||_{H_\infty} = 1.8027749569092566$$

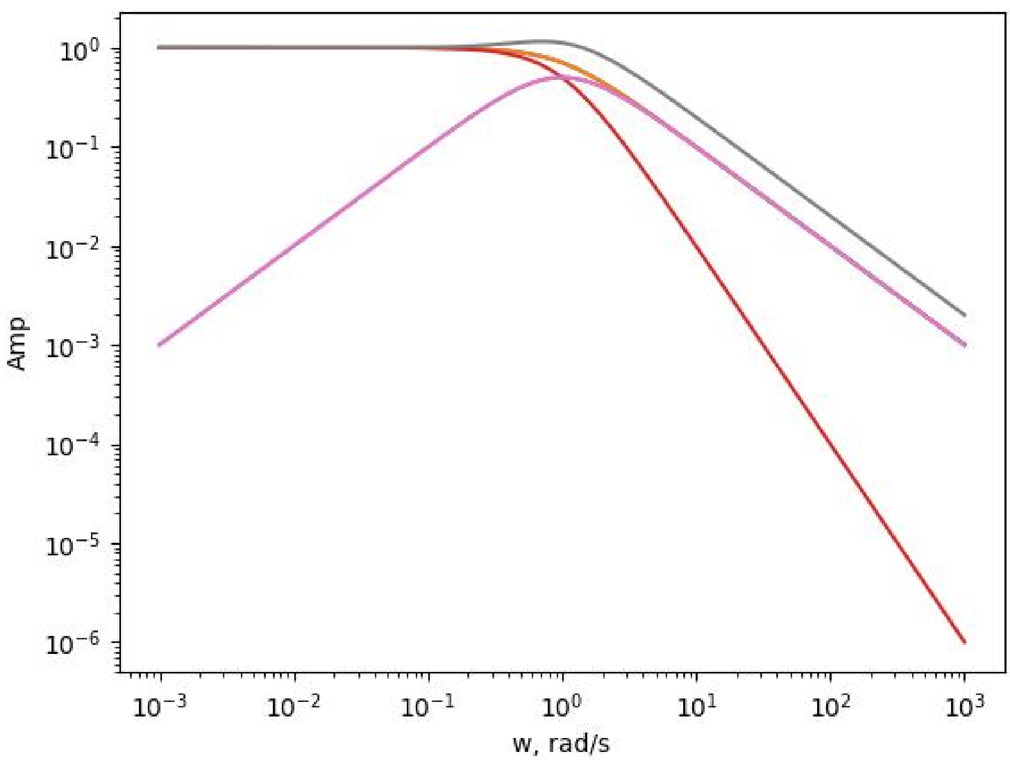

Рис. 1: АЧХ системы.

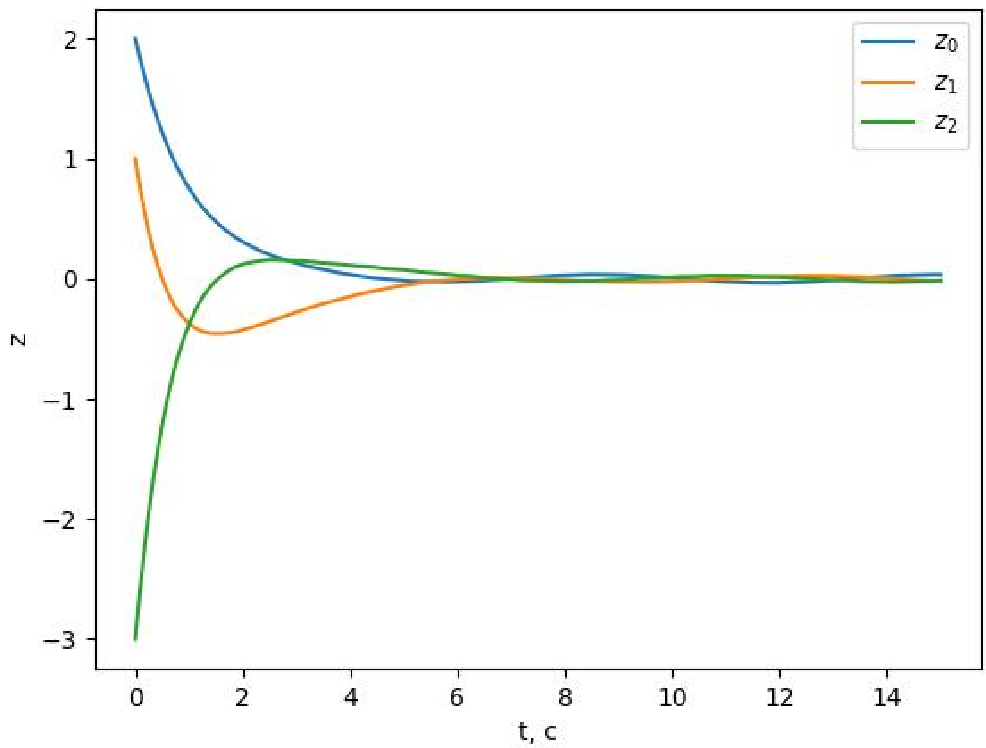

Рис. 2: Регулируемый выход системы.

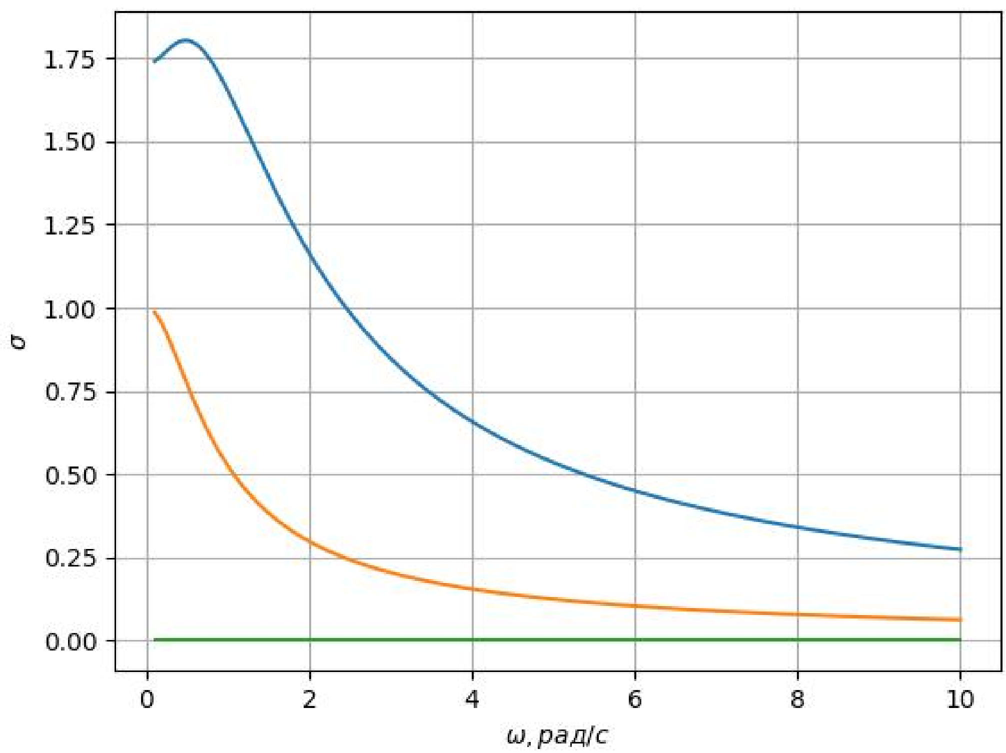

Рис. 3: Сингулярные числы.

Вариант 2

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}; D_2 = \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.00 \\ 1.00 \end{bmatrix};$$

$$C_2^T D_2 = 0 : True$$

$$D_2^T D_2 \text{ обратима} : True$$

$$spec(A - B_2K) = \begin{bmatrix} -0.59 + 0.59j & -0.59 + -0.59j \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.71 & 1.19 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} -\frac{0.707106781186547i\omega}{-1.0\omega^2+1.18920711500272i\omega+0.707106781186547} & \frac{-1.18920711500272i\omega-0.707106781186547}{-1.0\omega^2+1.18920711500272i\omega+0.707106781186547} & 0 \\ \frac{1.0i\omega+1.18920711500272}{-1.0\omega^2+1.18920711500272i\omega+0.707106781186547} & \frac{1.0}{-1.0\omega^2+1.18920711500272i\omega+0.707106781186547} & 0 \\ -\frac{0.707106781186547i\omega}{-1.0\omega^2+1.18920711500272i\omega+0.707106781186547} & \frac{-1.18920711500272i\omega-0.707106781186547}{-1.0\omega^2+1.18920711500272i\omega+0.707106781186547} & 0 \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 2.014995548509443$$

$$||W||_{H_\infty} = 2.759749617001796$$

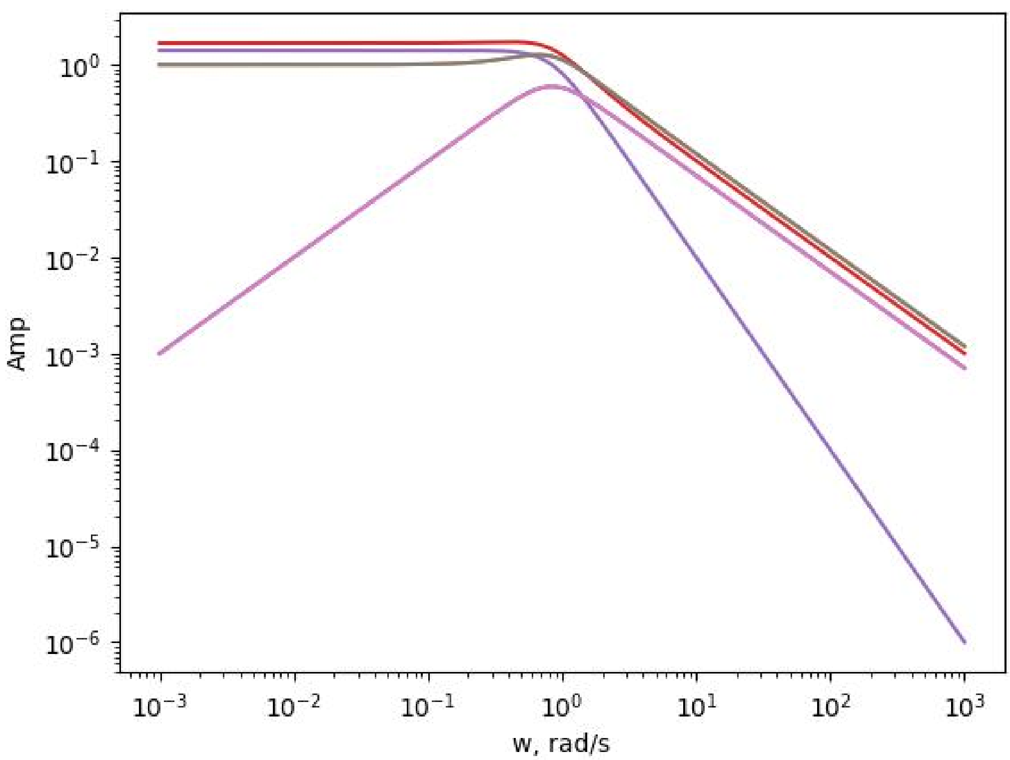

Рис. 4: АЧХ системы.

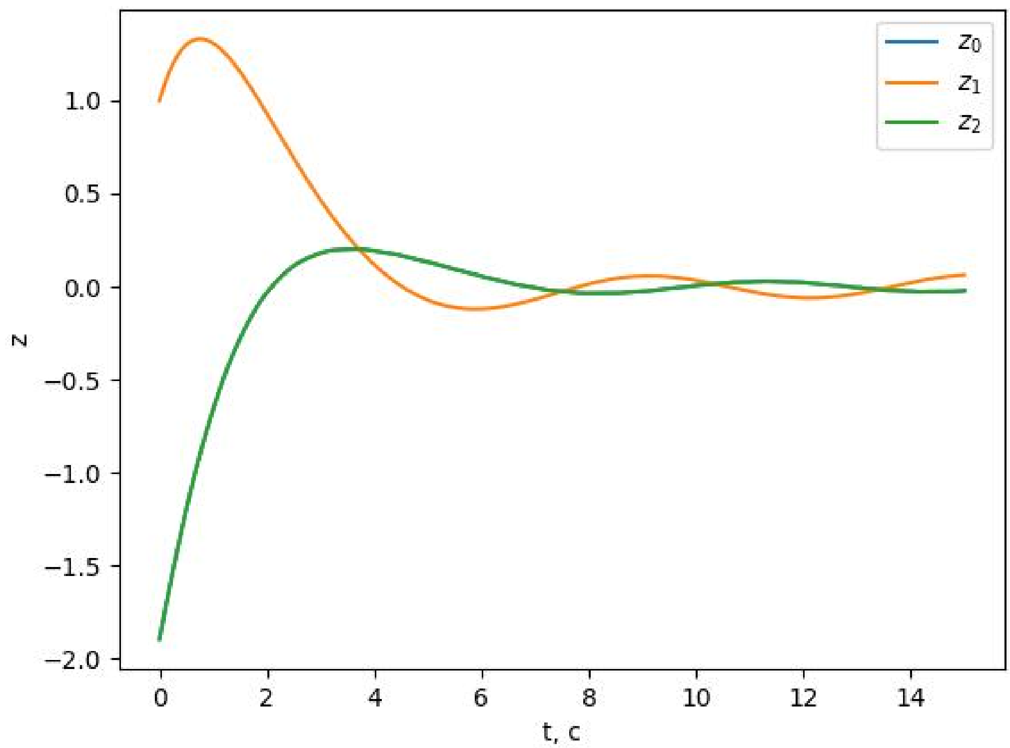

Рис. 5: Регулируемый выход системы.

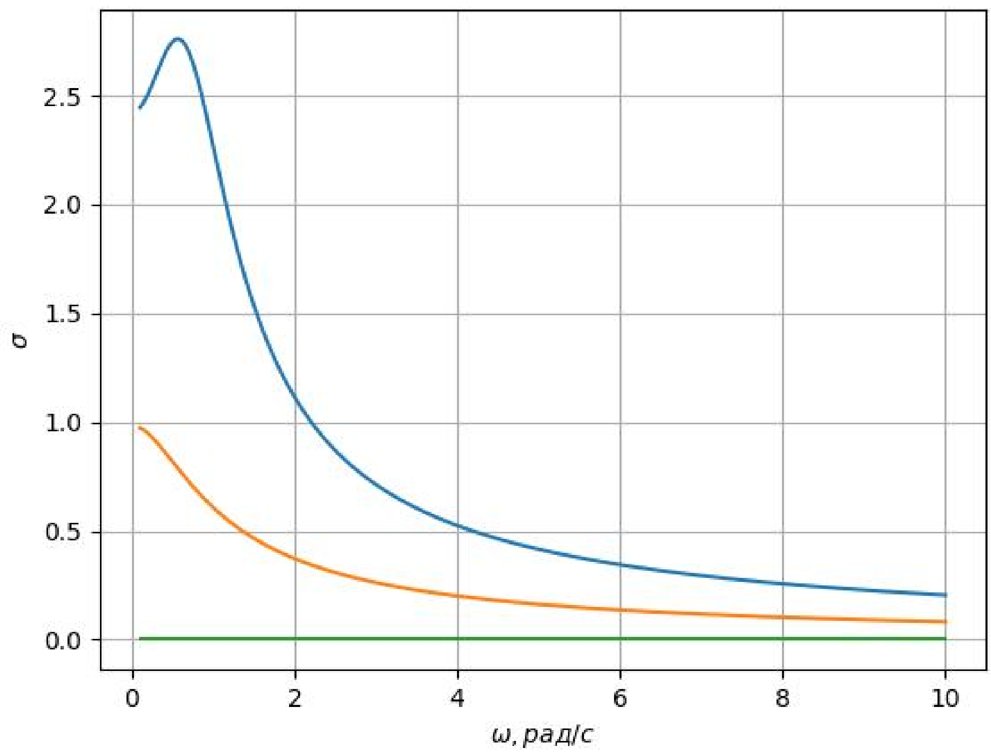

Рис. 6: Сингулярные числы.

2.2 Синтез H_2-регулятора по выходу

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B_1 w + B_2 u \\ z = C_2 x + D_2 u \end{cases}$$

Дополним систему наблюдателем:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + B_2 u + L(\hat{y} - y) \\ \hat{y} = C_1 \hat{x} \\ \hat{z} = C_2 \hat{x} \end{cases} \tag{1}$$

Можем синтезировать H_2-наблюдатель следующим образом:

$$\begin{cases} AP + PA^T + B_1 B_1^T - PC_1^T (D_1 D_1^T)^{-1} C_1 P = 0 \\ L = -PC_1^T (D_1 D_1^T)^{-1} \end{cases} \tag{2}$$

Существует $P > 0$ решение уравнения Рикатти, если:

1. $B_1 D_1^T = 0$ $(B_1 B_1^T = Q; D_1 D_1^T = R;)$
2. $D_1 D_1^T$ – обратима
3. (C_1, A) – обнаруживаема
4. (A, B_1) – стабилизируема

$$||W(s)_{w \to \hat{z} - z}||_{H_2} = \sqrt{trace(C_2 P C_2^T)}$$

Представим систему в виде:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\hat{x}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B_2 K \\ -LC_1 & A + B_2 K + LC_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \hat{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ -LD_1 \end{bmatrix} w \\ z = \begin{bmatrix} C_2 & -D_2 K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \hat{x} \end{bmatrix} \end{cases} \tag{3}$$

Вариант 1

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1.00 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}; D_2 = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 1.00 \end{bmatrix};$$

$$K = \begin{bmatrix} -1.00 & -2.00 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -1.73 \\ -1.00 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{-1.0i\omega^3 - 2.7\omega^2 - 1.0i\omega}{1.0\omega^4 - 2.7i\omega^3 - 2.7\omega^2 + 1.0i\omega} & \frac{-1.0i\omega^3 - 3.7\omega^2 + 5.4i\omega}{1.0\omega^4 - 2.7i\omega^3 - 2.7\omega^2 + 1.0i\omega} & \frac{3.7\omega^2 - 0.9i\omega}{1.0\omega^4 - 2.7i\omega^3 - 2.7\omega^2 + 1.0i\omega} \\ \frac{-3.7i\omega - 1.0}{1.0\omega^4 - 3.7i\omega^3 - 5.4\omega^2 + 3.7i\omega + 1.0} & \frac{-1.0i\omega^3 - 3.7\omega^2 + 5.4i\omega}{1.0\omega^4 - 3.7i\omega^3 - 5.4\omega^2 + 3.7i\omega + 1.0} & \frac{3.7\omega^2 - 1.0i\omega}{1.0\omega^4 - 3.7i\omega^3 - 5.4\omega^2 + 3.7i\omega + 1.0} \\ \frac{-3.7\omega^2 + 1.0i\omega}{1.0\omega^4 - 3.7i\omega^3 - 5.4\omega^2 + 3.7i\omega + 1.0} & \frac{3.7i\omega + 1.0}{1.0\omega^4 - 3.7i\omega^3 - 5.4\omega^2 + 3.7i\omega + 1.0} & \frac{-3.7i\omega^3 - 1.0\omega^2}{1.0\omega^4 - 3.7i\omega^3 - 5.4\omega^2 + 3.7i\omega + 1.0} \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 3.95730388495051$$

$$||W||_{H_\infty} = 5.793551436432305$$

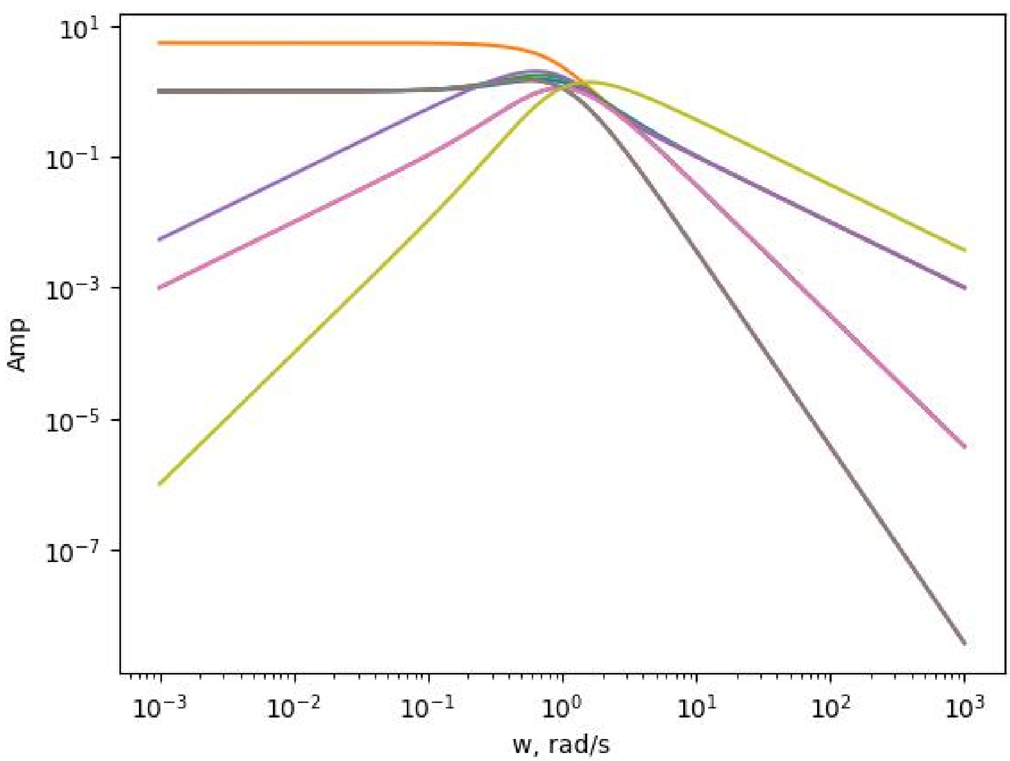

Рис. 7: АЧХ системы.

Вариант 2

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}; D_2 = \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.00 \\ 1.00 \end{bmatrix};$$

$$K = \begin{bmatrix} -0.71 & -1.19 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -1.73 \\ -1.00 \end{bmatrix}$$

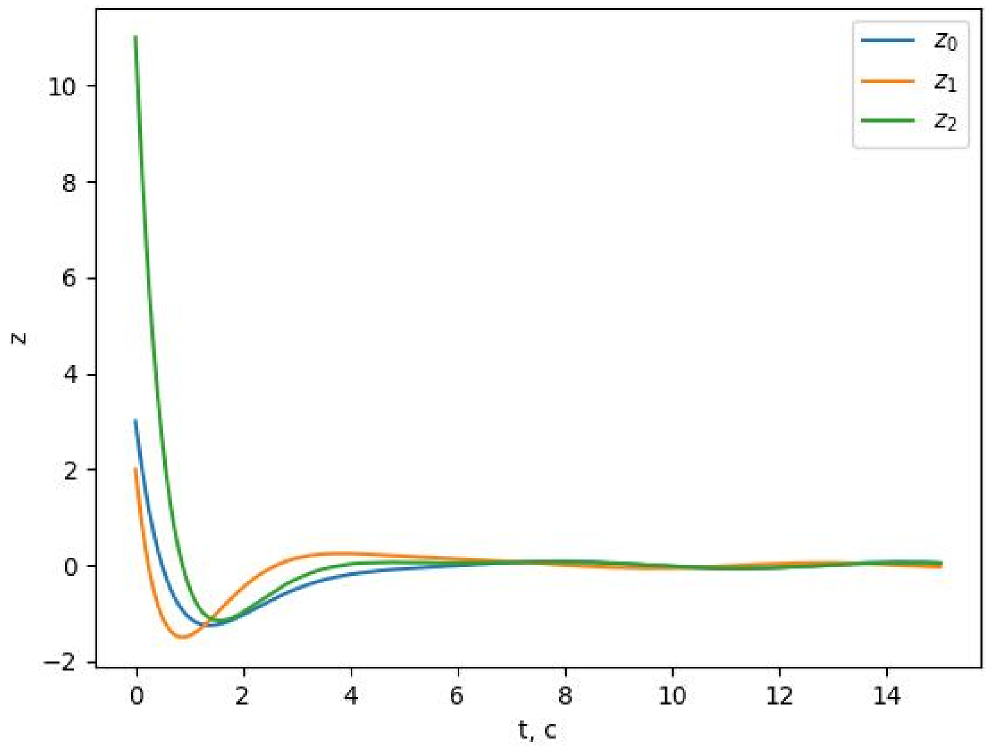

Рис. 8: Регулируемый выход системы.

$$W = \begin{bmatrix} \frac{-2.4\omega^2+0.7i\omega}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} & \frac{2.4i\omega+0.7}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} & \frac{-2.4i\omega^3-0.7\omega^2}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} \\ \frac{-1.0i\omega^3-2.9\omega^2+3.7i\omega}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} & \frac{-1.0\omega^2+2.9i\omega+3.7}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} & \frac{-2.4i\omega-0.7}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} \\ \frac{-2.4\omega^2+0.7i\omega}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} & \frac{2.4i\omega+0.7}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} & \frac{-2.4i\omega^3-0.7\omega^2}{1.0\omega^4-2.9i\omega^3-3.7\omega^2+2.4i\omega+0.7} \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 3.748976262216525$$

$$||W||_{H_\infty} = 5.863564643118213$$

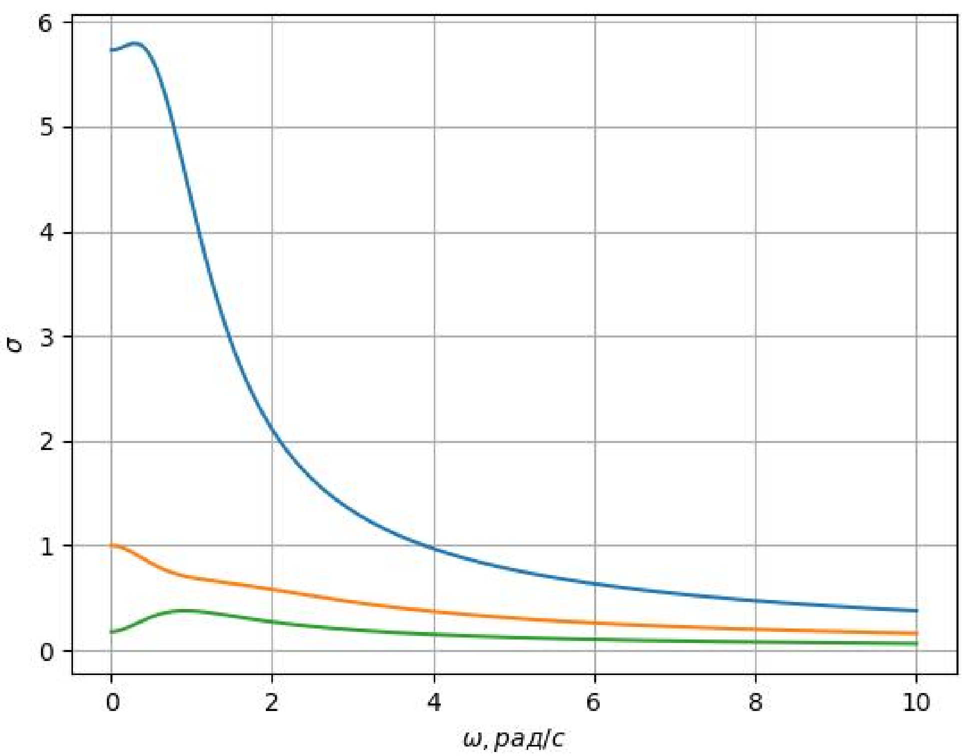

Рис. 9: Сингулярные числы.

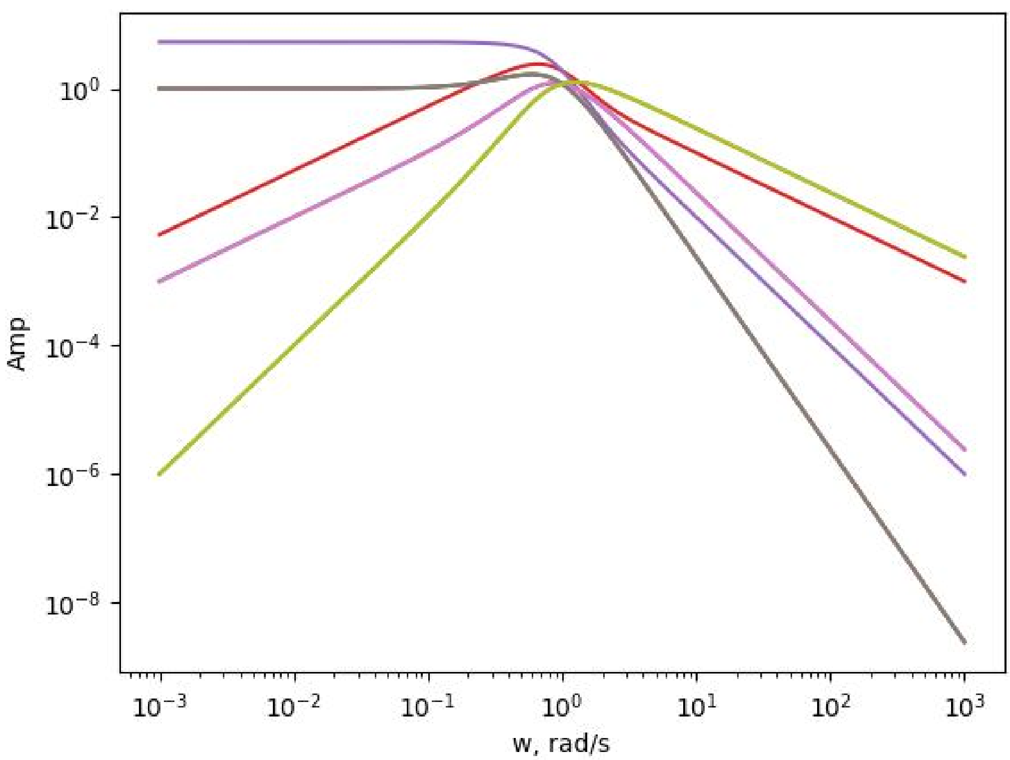

Рис. 10: АЧХ системы.

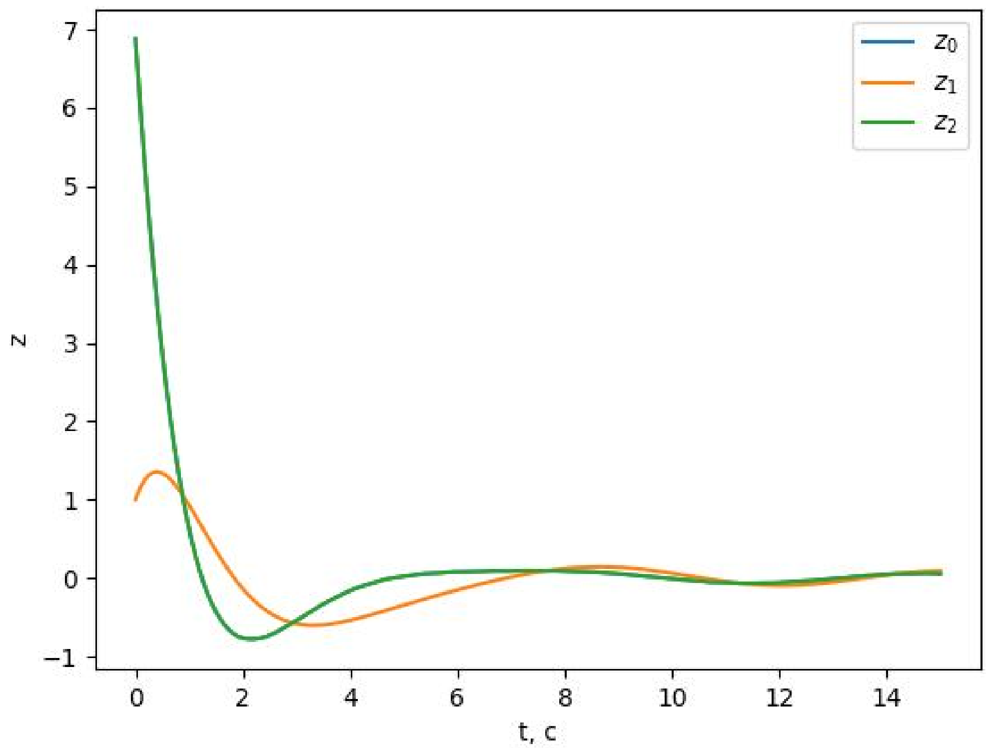

Рис. 11: Регулируемый выход системы.

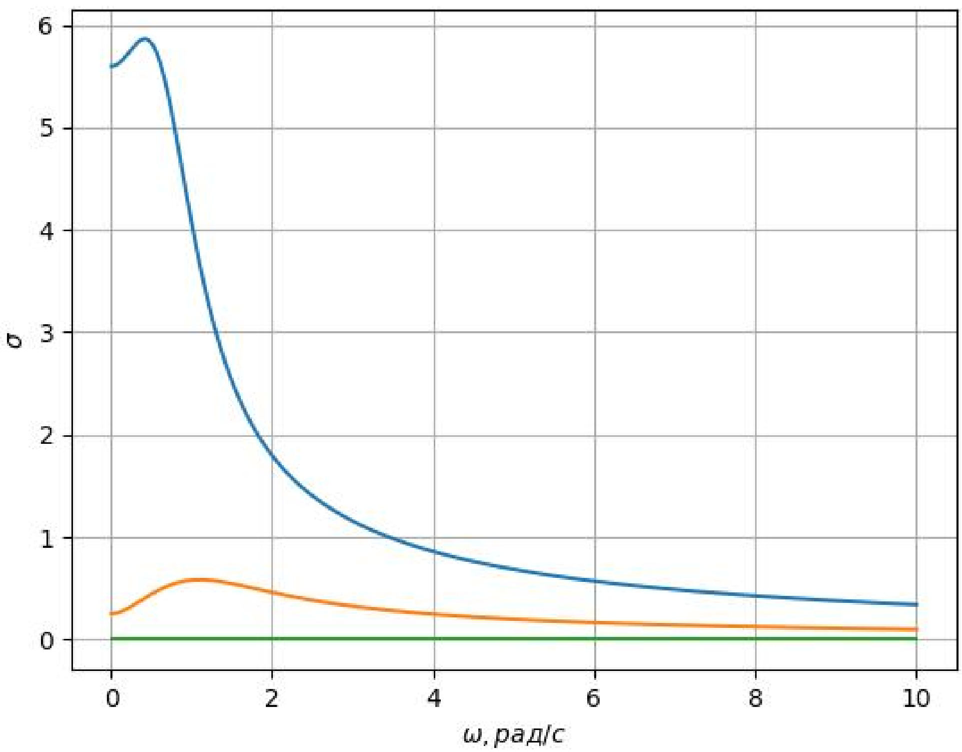

Рис. 12: Сингулярные числы.

2.3 Синтез H_∞-регулятора по состоянию.

Пусть $||W||_{H_\infty} < \gamma$

Уравнения ниже позволяют синтезировать такой регулятор.

$$\begin{cases} A^TQ + QA + C_2^TC_2 - QB_2(D_2^TD_2)^{-1}B_2^TQ + \gamma^{-2}QB_1B_1^TQ = 0 \\ K = -(D_2^TD_2)^{-1}B_2^TQ \end{cases} \tag{4}$$

Существует $P > 0$ решение уравнения Рикатти, если:

1. $C_2^TD_2 = 0$ $(C_1C_1^T = Q; D_2D_2^T = Q;)$
2. $D_2D_2^T$ – обратима
3. (C_2, A) – обнаруживаема
4. (A, B_2) – стабилизируема

$\gamma = 1.4$

$$spec(A - B_2K) = [-0.64 - 3.96]$$

$$K = \begin{bmatrix} 2.54 & 4.61 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1.0i\omega+2}{-1.0\omega^2+4.6i\omega+2.5} & \frac{1.0i\omega+1.0}{-1.0\omega^2+4.6i\omega+2.5} & 0 \\ -\frac{2.5}{-1.0\omega^2+4.61i\omega+2.5} & \frac{1.0i\omega}{-1.0\omega^2+4.61i\omega+2.5} & 0 \\ -\frac{2.5i\omega}{-1.0\omega^2+4.6i\omega+2.5} & \frac{-4.61i\omega-2.5}{-1.0\omega^2+4.6i\omega+2.5} & 0 \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 2.026622146045859$$

$$||W||_{H_\infty} = 1.359310155325042$$

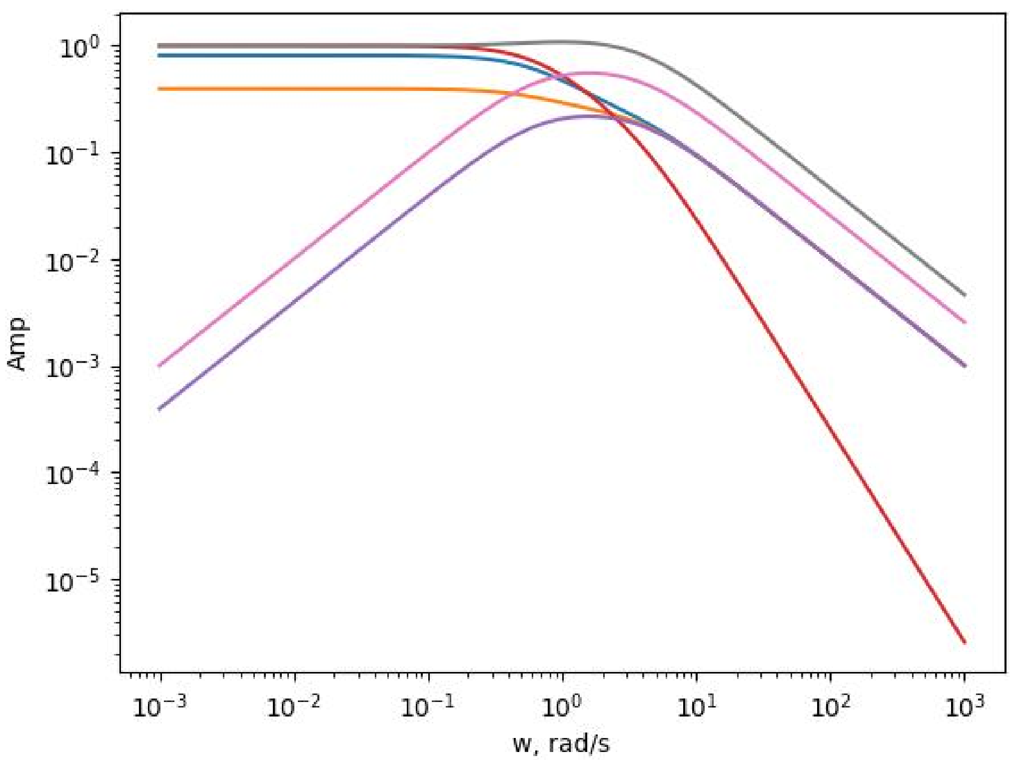

Рис. 13: АЧХ системы.

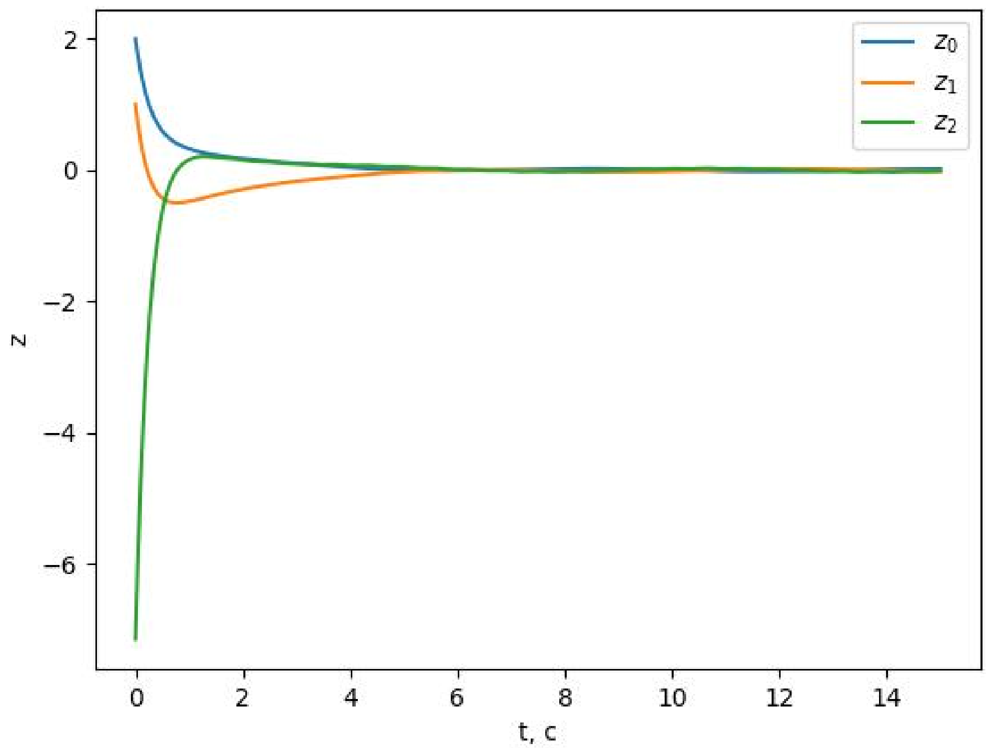

Рис. 14: Регулируемый выход системы.

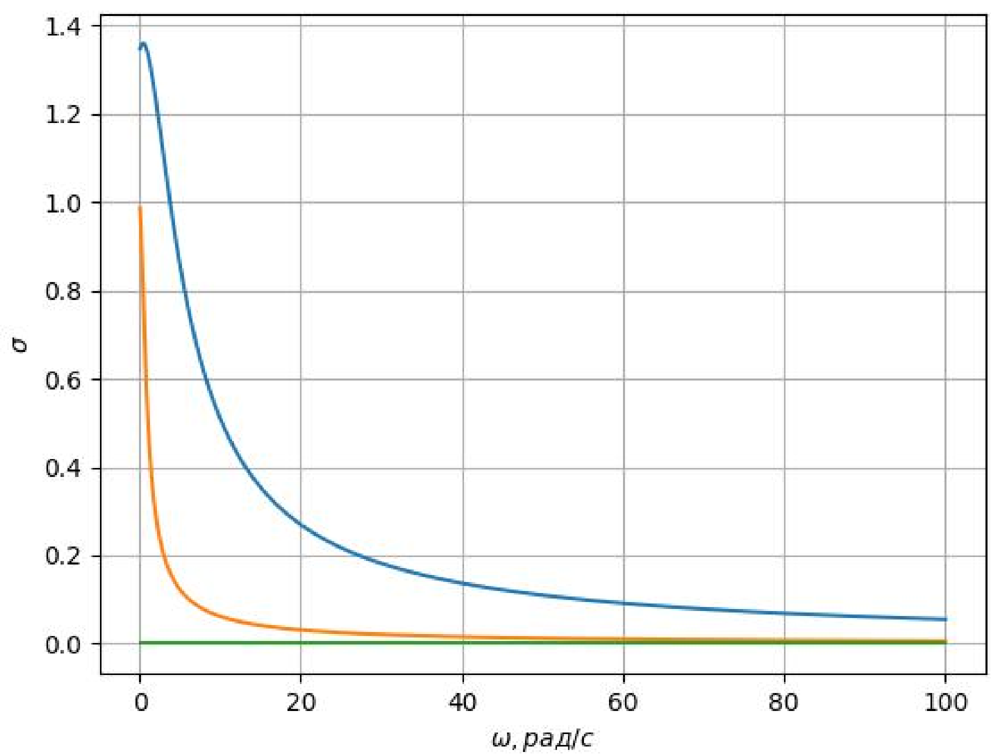

Рис. 15: Сингулярные числы.

$\gamma = 2$

$$spec(A - B_2K) = [-0.71 - 1.92]$$

$$K = \begin{bmatrix} 1.37 & 2.63 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1.0i\omega+1.2}{-1.0\omega^2+2.6i\omega+1.3} & \frac{1.0i\omega+1.0}{-1.0\omega^2+2.6i\omega+1.3} & 0 \\ -\frac{1.3}{-1.0\omega^2+2.6i\omega+1.3} & \frac{1.0i\omega}{-1.0\omega^2+2.6i\omega+1.3} & 0 \\ -\frac{1.3i\omega}{-1.0\omega^2+2.6i\omega+1.3} & \frac{-2.6i\omega-1.3}{-1.0\omega^2+2.6i\omega+1.3} & 0 \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 1.7668518255958938$$

$$||W||_{H_\infty} = 1.5881438250859183$$

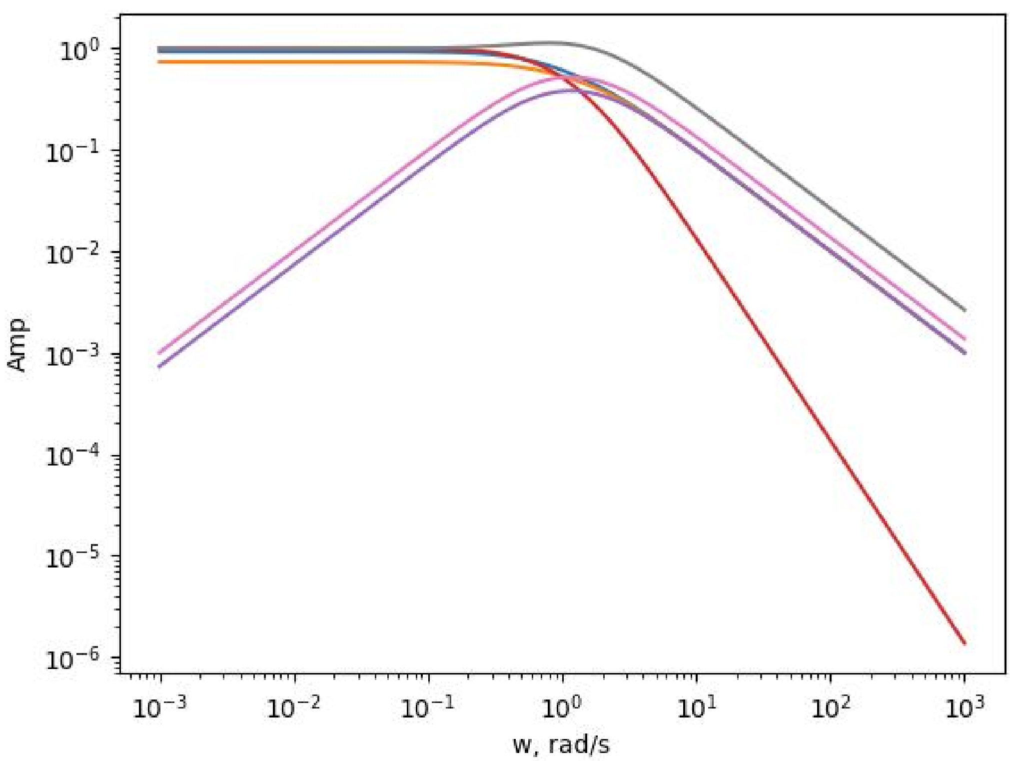

Рис. 16: АЧХ системы.

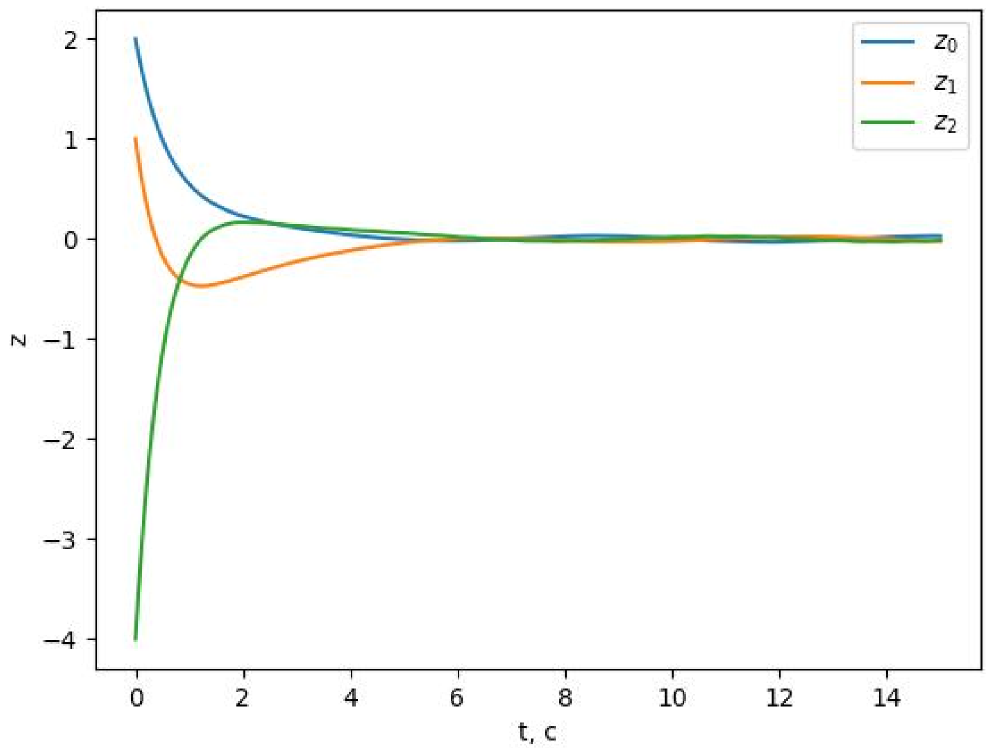

Рис. 17: Регулируемый выход системы.

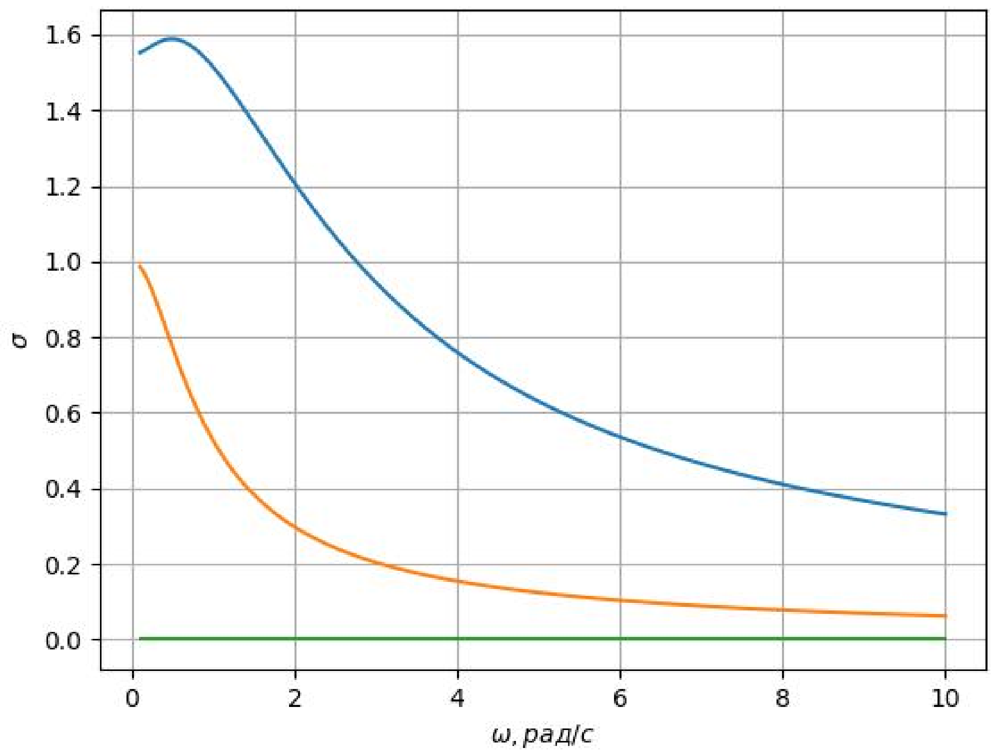

Рис. 18: Сингулярные числы.

$\gamma = 10$

$$spec(A - B_2K) = [-0.92 - 1.1]$$
$$K = \begin{bmatrix} 1.01 & 2.02 \end{bmatrix}$$
$$W = \begin{bmatrix} \frac{1.0i\omega+1}{-1.0\omega^2+2i\omega+1} & \frac{1.0i\omega+1.0}{-1.0\omega^2+2i\omega+1} & 0 \\ -\frac{1}{-1.0\omega^2+2i\omega+1} & \frac{1.0i\omega}{-1.0\omega^2+2i\omega+1} & 0 \\ -\frac{1i\omega}{-1.0\omega^2+2i\omega+1} & \frac{-2i\omega-1}{-1.0\omega^2+2i\omega+1} & 0 \end{bmatrix}$$
$$||W||_{H_2} = 1.7320883081147758$$
$$||W||_{H_\infty} = 1.79431913434723$$

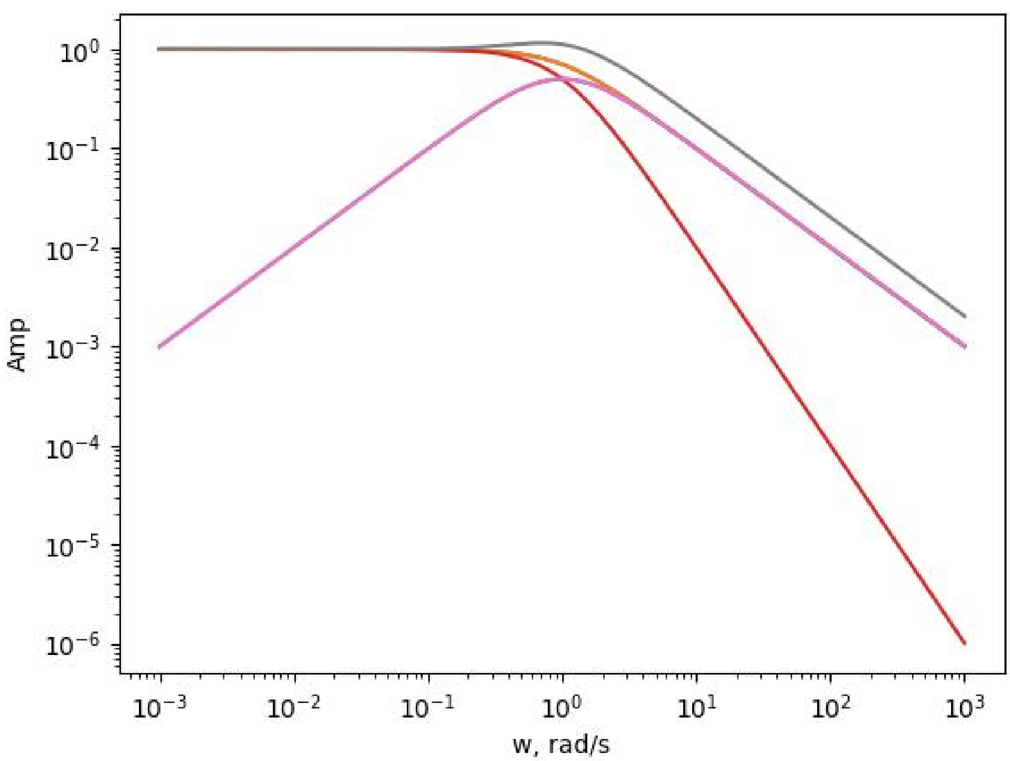

Рис. 19: АЧХ системы.

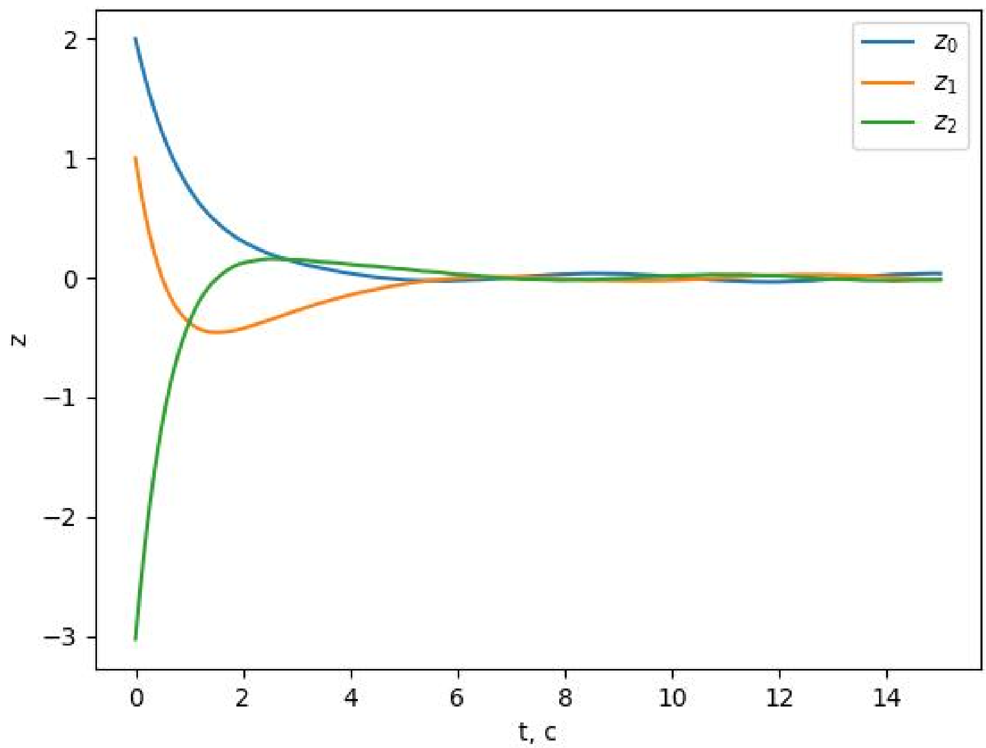

Рис. 20: Регулируемый выход системы.

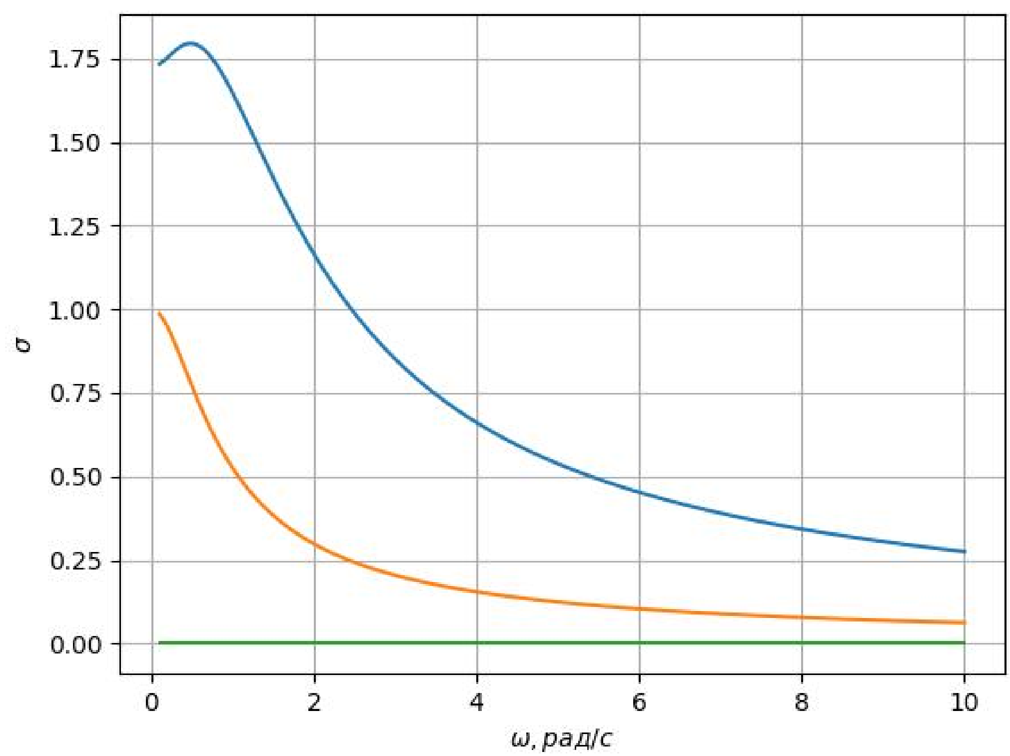

Рис. 21: Сингулярные числы.

2.4 Синтез H_∞-регулятора по выходу.

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B_1 w + B_2 u \\ y = C_1 x + D_1 u \\ z = C_2 x + D_2 u \end{cases}$$

Дополним систему наблюдателем:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + B_1\hat{w} + B_2 u + L(\hat{y} - y) \\ \hat{y} = C_1\hat{x} + D_1\hat{w} \\ \hat{w} = -\gamma^2 B_1^T Q\hat{x} \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases} AP + PA^T + B_1B_1^T - PC_1^T(D_1D_1^T)^{-1}C_1P = 0 \\ L = -PC_1^T(D_1^TD_1)^{-1} \\ A^TQ + QA + C_2^TC_2 - QB_2(D_2^TD_2)^{-1}B_2^TQ = 0 \\ K = -(D_2^TD_2)^{-1}B_2^TQ \end{cases} \tag{6}$$

Существует $P > 0$ решение уравнения Рикатти, если:

1. $B_1D_1^T = 0$ $(B_1B_1^T = Q; D_1D_1^T = Q;)$
2. $D_1D_1^T$ – обратима
3. (C_1, A) – обнаруживаема
4. (A, B_1) – стабилизируема

Представим систему в виде:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A + B_2K & -B_2K \\ -(LD_1B_1)\gamma^{-2}B_1^TQ & A + LC_1 + (LD_1B_1)\gamma^{-2}B_1^TQ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ LD_1 + B_1 \end{bmatrix} w \\ z = \begin{bmatrix} C_2 + D_2K & -D_2K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ e \end{bmatrix} \end{cases} \tag{7}$$

gamma = 1.4

$$spec(A - B_2K) = [-0.422.43]$$

$$K = \begin{bmatrix} -1.01 & -2.02 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1.01 & 1.01 \\ 1.01 & 2.02 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -1.89 \\ -1.16 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{-1.0i\omega^3-3.8\omega^2+1.6i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{-0.9i\omega^3-4.8\omega^2+9.81i\omega+5.9}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{4.2\omega^2-5.4i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} \\ \frac{-4.2i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{-1.0i\omega^3-3.8\omega^2+5.9i\omega}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{4.2\omega^2-1.1i\omega}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} \\ \frac{4.2\omega^2-1.1i\omega}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{-4.2i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{4.2i\omega^3+1.1\omega^2}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 3.9739213167564933$$

$$||W||_{H_\infty} = 5.4385479975362845$$

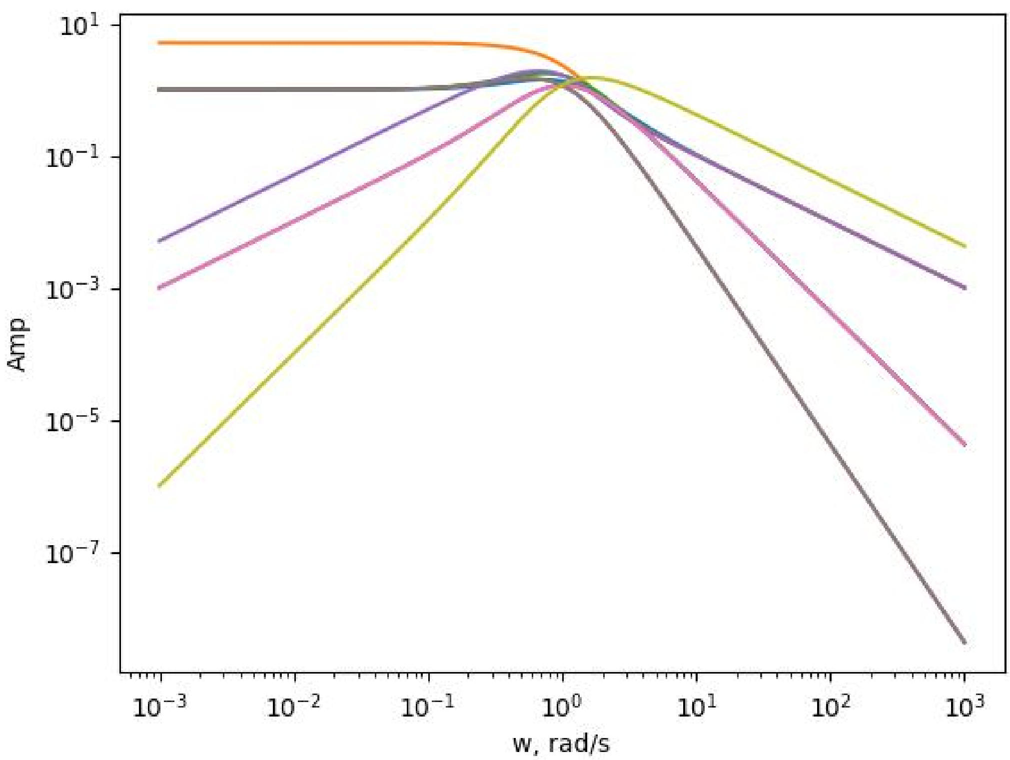

Рис. 22: АЧХ системы.

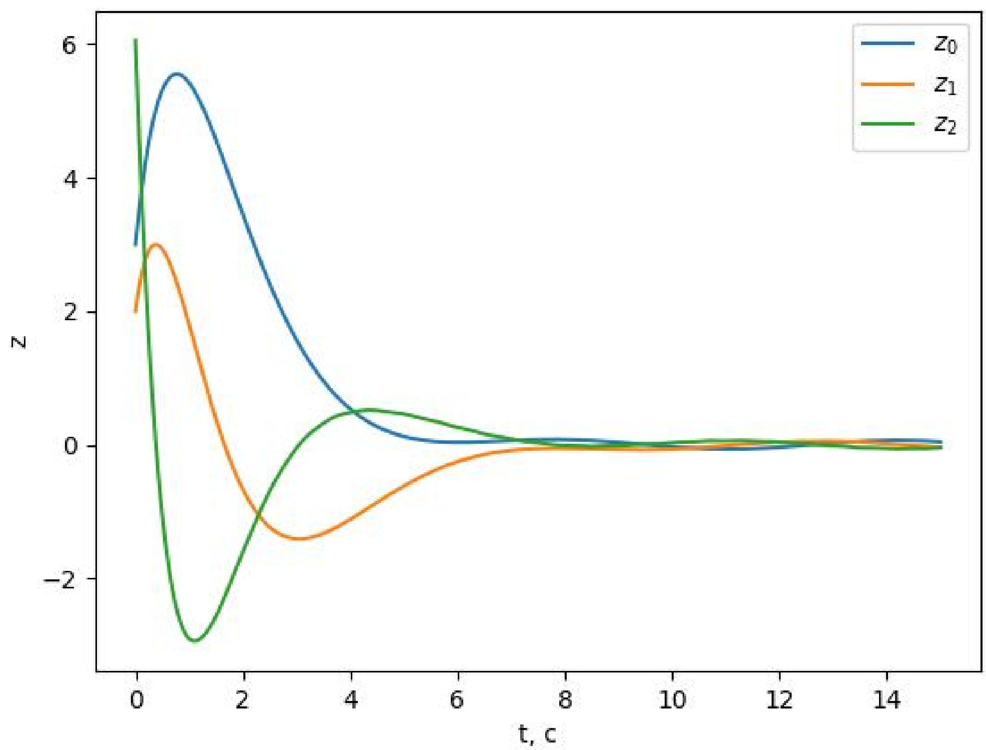

Рис. 23: Регулируемый выход системы.

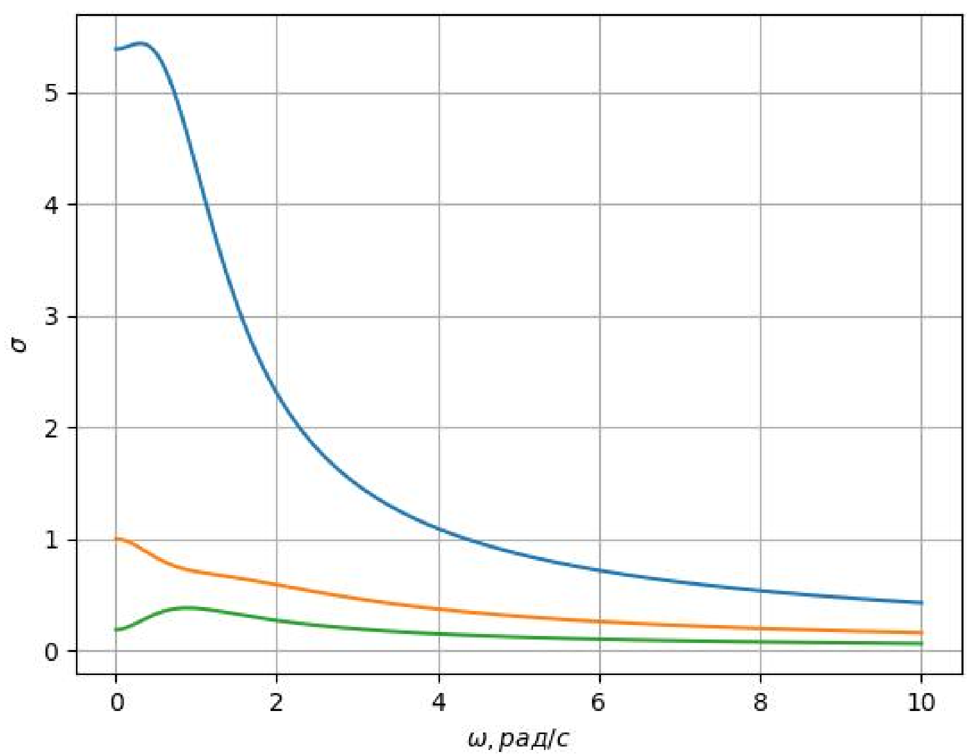

Рис. 24: Сингулярные числы.

gamma = 2

$$spec(A - B_2K) = [-0.422.43]$$

$$K = \begin{bmatrix} -1.01 & -2.02 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1.01 & 1.01 \\ 1.01 & 2.02 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -1.89 \\ -1.16 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{-1.0i\omega^3 - 3.8\omega^2 + 1.6i\omega - 1.1}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} & \frac{-i\omega^3 - 4.8\omega^2 + 9.8i\omega + 5.9}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} & \frac{4.2\omega^2 - 5.4i\omega - 1.1}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} \\ \frac{-4.2i\omega - 1.1}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} & \frac{-1.0i\omega^3 - 3.8\omega^2 + 5.9i\omega}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} & \frac{4.2\omega^2 - 1.1i\omega}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} \\ \frac{4.2\omega^2 - 1.1i\omega}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} & \frac{-4.2i\omega - 1.1}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} & \frac{4.2i\omega^3 + 1.1\omega^2}{1.0\omega^4 - 3.8i\omega^3 - 5.9\omega^2 + 4.2i\omega + 1.1} \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 3.9739213167564933$$

$$||W||_{H_\infty} = 5.4385479975362845$$

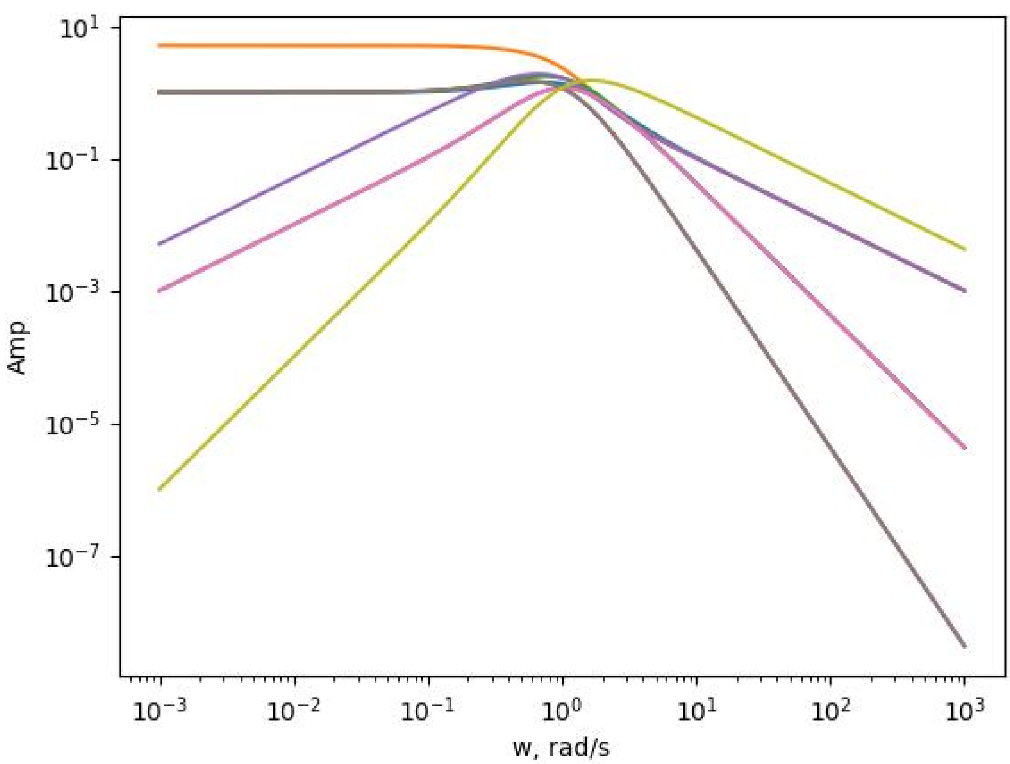

Рис. 25: АЧХ системы.

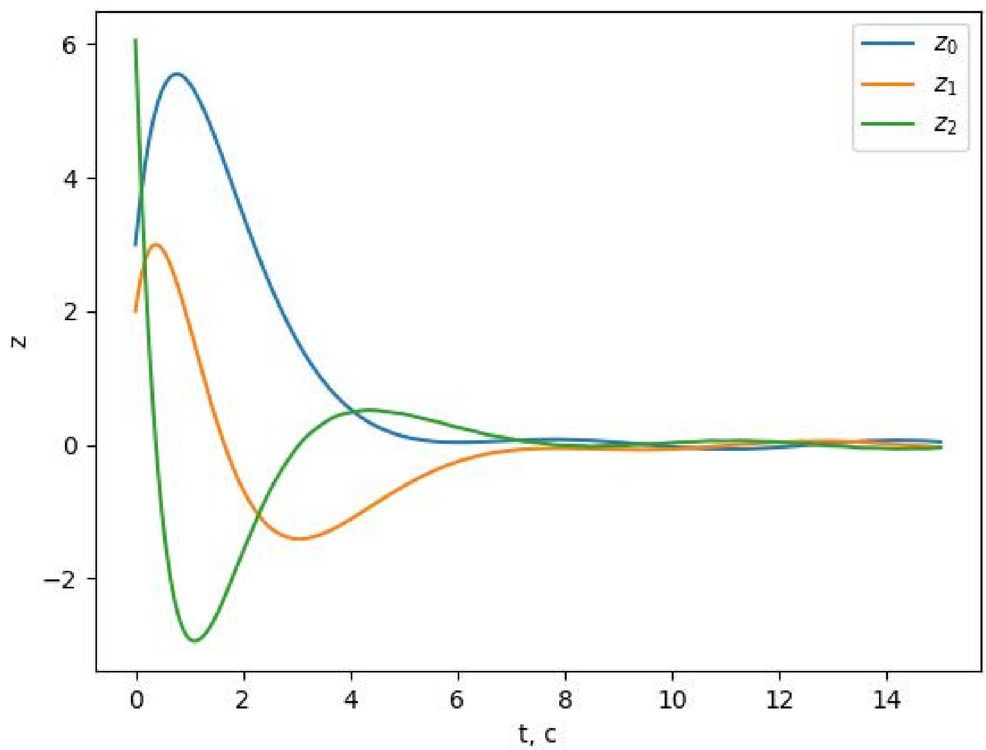

Рис. 26: Регулируемый выход системы.

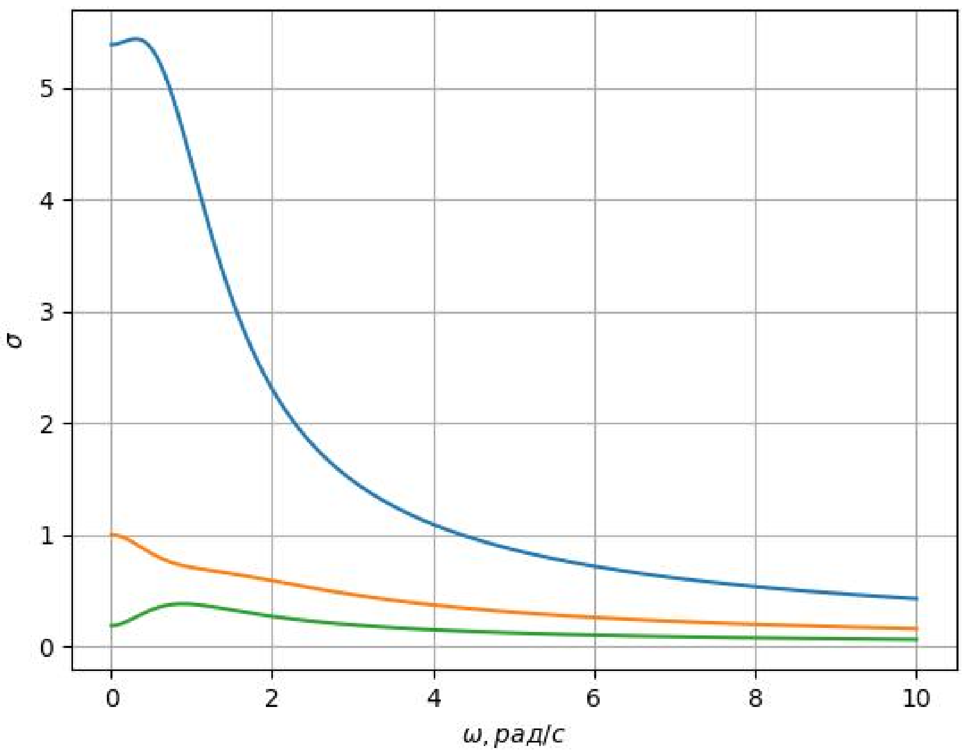

Рис. 27: Сингулярные числы.

gamma = 10

$$spec(A - B_2K) = [-0.422.43]$$

$$K = \begin{bmatrix} -1.01 & -2.02 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1.01 & 1.01 \\ 1.01 & 2.02 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -1.89 \\ -1.16 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{-1.0i\omega^3-3.8\omega^2+1.6i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{-i\omega^3-4.8\omega^2+9.8i\omega+5.9}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{4.2\omega^2-5.4i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} \\ \frac{-4.2i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{-1.0i\omega^3-3.8\omega^2+5.9i\omega}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{4.2\omega^2-1.1i\omega}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} \\ \frac{4.2\omega^2-1.1i\omega}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{-4.2i\omega-1.1}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} & \frac{4.2i\omega^3+1.1\omega^2}{1.0\omega^4-3.8i\omega^3-5.9\omega^2+4.2i\omega+1.1} \end{bmatrix}$$

$$||W||_{H_2} = 3.9739213167564933$$

$$||W||_{H_\infty} = 5.4385479975362845$$

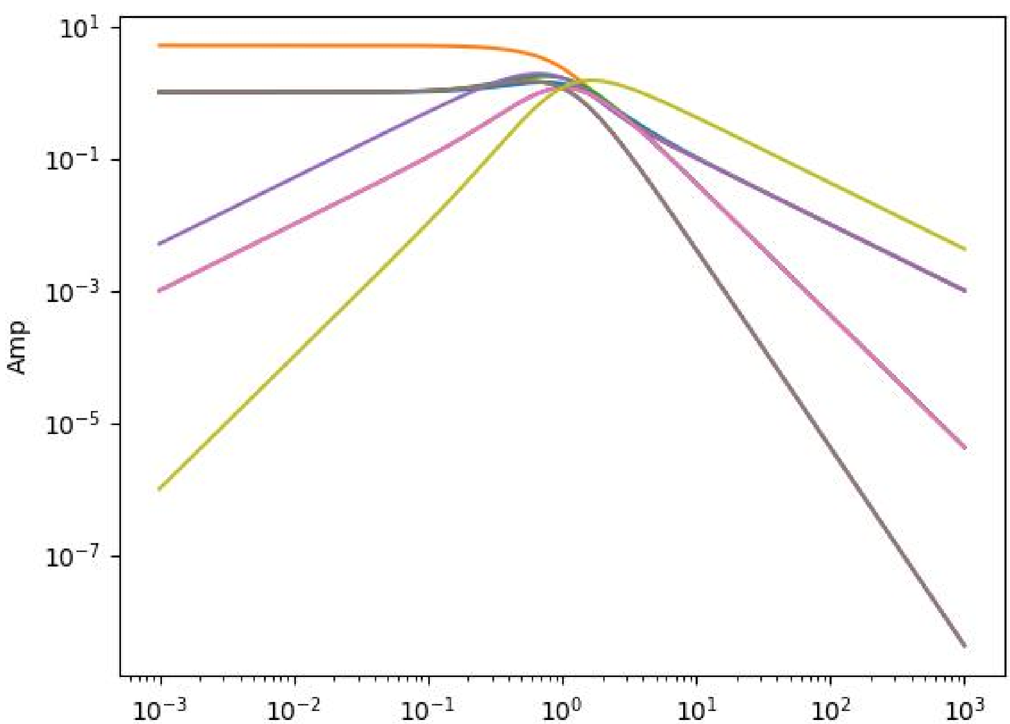

Рис. 28: АЧХ системы.

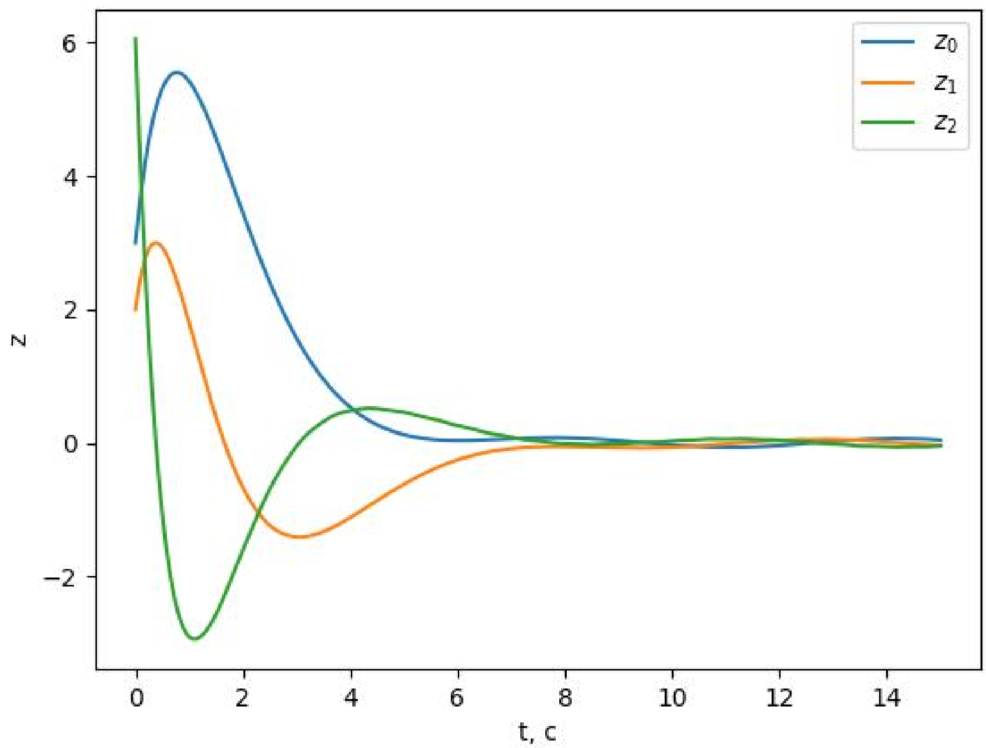

Рис. 29: Регулируемый выход системы.

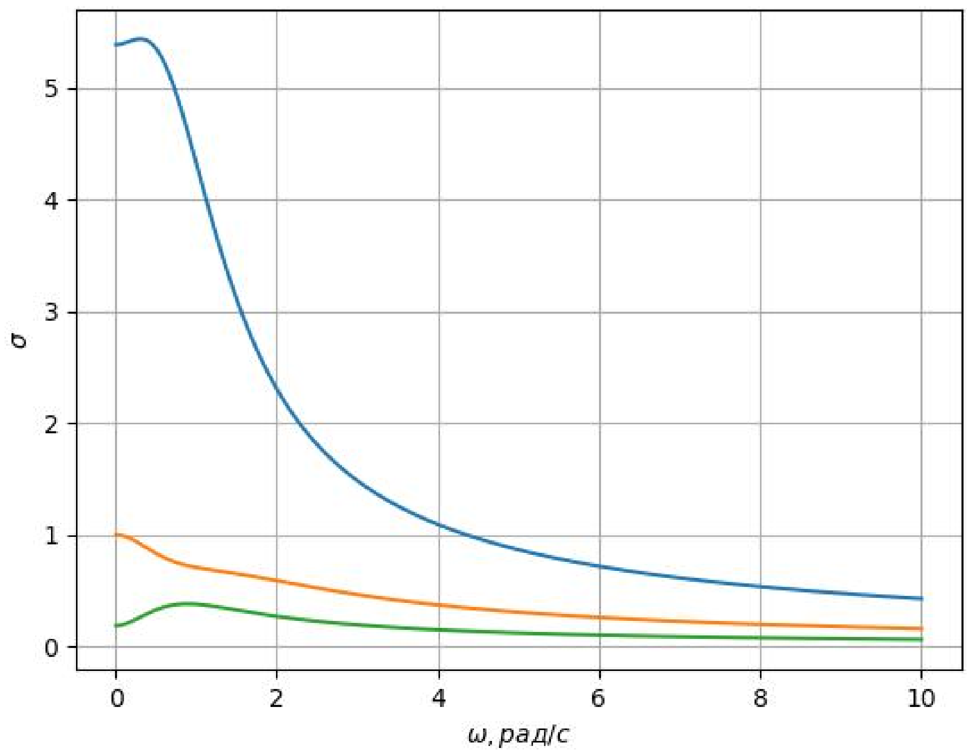

Рис. 30: Сингулярные числы.

3 Заключение

В этой работе пройдет изучение H_2 и H_∞ регуляторов.

3.1 Выводы

1. сделаны различные наблюдатели.
2. сделаны различные регуляторы по состоянию.
3. сделаны различные регуляторы по выходу.
4. H_2 делает коэффициенты больше для регуляторов, H_∞ для наблюдателей.
5. Две нормы взаимоисключают друг друга, при падении одной растет вторая.
6. При моделировании систем удалось добиться колебаний ошибки в окрестности 0.
7. Было интересно.