МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

**Лабораторная работа №11:**

**«**

по дисциплине Теория автоматического управления

Выполнил: Студент группы R33362 Осинина Т. С

Преподаватель: Перегудин А.А.

Санкт-Петербург, 2023

Содержание

[Задание №1. Исследование передаточных матриц 3](#_Toc135945408)

[Задание №2. Синтез -регулятора по состоянию 6](#_Toc135945409)

[Задание №3. Синтез -регулятора по выходу 13](#_Toc135945410)

[Задание №4. Синтез -регулятора по состоянию 22](#_Toc135945411)

[23](#_Toc135945412)

[24](#_Toc135945413)

[25](#_Toc135945414)

[27](#_Toc135945415)

[Моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях   
для 29](#_Toc135945416)

[Задание №5. Синтез -регулятора по выходу 31](#_Toc135945417)

[32](#_Toc135945418)

[33](#_Toc135945419)

[34](#_Toc135945420)

[36](#_Toc135945421)

[Моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях   
для 37](#_Toc135945422)

# Задание №1. Исследование передаточных матриц

Придумайте две неквадратные передаточные матрицы по возможности большой размерности. Для каждой из матриц постройте графики АЧХ её компонент, а также график зависимости сингулярных чисел от частоты. Вычислите и нормы каждой из матриц.

**Решение**

Передаточные матрицы A и B:



Рисунок 1. АЧХ компонент матрицы A

Изображение выглядит как текст, диаграмма, График, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 2. Зависимость сингулярных чисел от частоты матрицы А

Вычислим нормы для матрицы А:

=



Рисунок 3. АЧХ компонент матрицы B

Изображение выглядит как текст, График, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 4. Зависимость сингулярных чисел от частоты матрицы B

Вычислим нормы для матрицы B:

=

**Вывод:** так как значения норм соответствуют максимальному значению на графиках зависимости сингулярных чисел от частоты соответствующих матриц, следовательно, задание было выполнено верно.

# Задание №2. Синтез -регулятора по состоянию

Постройте математическую модель простого тела (тележки). Задайте регулируемый выход в трёх различных вариантах.

Для каждого из вариантов регулируемого выхода синтезируйте соответствующий -регулятор по состоянию.

В каждом случае найдите передаточную функцию (матрицу) замкнутой системы от внешнего возмущения (действующего аддитивно с управлением) к регулируемому выходу, постройте для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел, найдите её и нормы. Проведите моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях.

**Решение**

Сначала построим математическую модель тележки:

Подберем 3 варианта матриц , при условии,   
что .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №1 |  |  |
| №2 |  |  |
| №3 |  |  |

**Рассмотрим первый вариант.**

Матрица K – регулятора:

Построим передаточную матрицу замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 5. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 6. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Далее построим графики замкнутой системы при внешних возмущениях.

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 7. График системы при импульсным возмущении

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 8. График системы при step-возмущении

**Рассмотрим второй вариант.**

Матрица K:

Построим передаточную матрицу замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 9. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 10. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Далее построим графики замкнутой системы при внешних возмущениях.

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 11. График системы при импульсным возмущении

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 12. График системы при step-возмущении

**Рассмотрим третий вариант.**

Матрица K:

Построим передаточную матрицу замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 13. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 14. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Далее построим графики замкнутой системы при внешних возмущениях.

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 15. График системы при импульсным возмущении

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 16. График системы при step-возмущении

**Вывод:** в данном задание можно увидеть закономерность между матрицами C, D и нормами и . При увеличении значений матриц C и D, значения норм и тоже увеличиваются. Нормы были найдены верно, так как значения графиков соответствуют нормам.

# Задание №3. Синтез -регулятора по выходу

Постройте математическую модель простого тела (тележки), в которой измеряемым выходом является её координата. Задайте регулируемый выход в трёх различных вариантах.   
  
Для каждого из вариантов регулируемого выхода синтезируйте соответствующий -регулятор по выходу, включающий в себя наблюдатель.

В каждом случае найдите передаточную функцию (матрицу) замкнутой системы от внешних сигналов (возмущений и помех) к регулируемому выходу, постройте для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел, найдите её и нормы. Проведите моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях и помехах измерения.

**Решение**

Сначала построим математическую модель тележки:

Составим уравнение замкнутой системы с наблюдателем и регулятором.

Система уравнений самого объекта

Система уравнений наблюдателя

Подберем 3 варианта матриц , при условии,   
что .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №1 |  |  |
| №2 |  |  |
| №3 |  |  |

**Рассмотрим первый вариант.**

Матрица K регулятора:

Матрица L наблюдателя:

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 17. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 18. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Далее построим графики замкнутой системы при внешних возмущениях.

Изображение выглядит как диаграмма, Технический чертеж, План, схематичный

Автоматически созданное описание

Рисунок 19.Схема моделирования

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 20. График системы при импульсной помехе

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 21. График системы при step-помехе

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 22. График системы при синусоидальной помехе

**Рассмотрим второй вариант.**

Матрица K регулятора:

Матрица L наблюдателя:

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 23. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 24. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Далее построим графики замкнутой системы при внешних возмущениях.

Изображение выглядит как линия, График, текст, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 25. График системы при импульсной помехе

Изображение выглядит как текст, линия, График, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 26. График системы при step-помехе

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 27. График системы при синусоидальной помехе

**Рассмотрим третий вариант.**

Матрица K регулятора:

Матрица L наблюдателя:

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 28. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 29. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Далее построим графики замкнутой системы при внешних возмущениях.

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 30. График системы при импульсной помехе

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 31. График системы при step-помехе

Изображение выглядит как График, линия, диаграмма, текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 32. График системы при синусоидальной помехе

**Вывод:** при увеличении значений матриц , значения норм и тоже увеличиваются. Нормы были найдены верно, так как значения графиков соответствуют нормам. Также можно отметить, что норма больше зависит от матрицы , а норма зависит от матрицы

# Задание №4. Синтез -регулятора по состоянию

Возьмите модель тележки из задания 2. Самостоятельно выберите какой-то один вариант регулируемого выхода.

Выберите четыре различных значения параметра

(постарайтесь, чтобы одно из этих значений было наименьшим, при котором задача ещё будет иметь решение), и для каждого из значений синтезируйте соответствующий -регулятор по состоянию.

В каждом случае найдите передаточную функцию (матрицу) замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу, постройте для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел, найдите её и нормы. Для наименьшего значения γ проведите моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях.

**Решение**

Первый вариант из задания №2 регулируемого выход:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Выберем четыре различных значения параметра

Синтезируйте -регулятор по состоянию

Матрица K регулятора:

Построим передаточную матрицу замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 33. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, линия, снимок экрана, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 34. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Синтезируйте -регулятор по состоянию

Матрица K регулятора:

Построим передаточную матрицу замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 35. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, линия, снимок экрана, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 36. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Синтезируйте -регулятор по состоянию

Матрица K регулятора:

Построим передаточную матрицу замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 37. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 38. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Синтезируйте -регулятор по состоянию

Матрица K регулятора:

Построим передаточную матрицу замкнутой системы от внешнего возмущения к регулируемому выходу

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 39. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как линия, снимок экрана, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 40. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

## Моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях для

Для наименьшего значения γ проведем моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях.

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 41. График системы при импульсной помехе

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 42. График системы при step-помехе

Изображение выглядит как текст, линия, График, Шрифт

Автоматически созданное описание

Рисунок 43. График системы при синусоидальной помехе, при частоте =1

Изображение выглядит как текст, линия, Прямоугольник, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 44. График системы при синусоидальной помехе, при частоте =10

Изображение выглядит как диаграмма, График, линия, текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 44. График системы при синусоидальной помехе, при частоте = 0.1

**Вывод:** при применении -регулятора по состоянию замкнутая система получается устойчивой, а также гарантирует, что норма системы будет меньше или равна (если это возможно), что подтверждается полученными значениями и графиками.

# Задание №5. Синтез -регулятора по выходу

Возьмите модель тележки из задания 3. Самостоятельно выберите какой-то один вариант регулируемого выхода.

Выберите четыре различных значения параметра   
(постарайтесь, чтобы одно из этих значений было наименьшим, при котором задача ещё будет иметь решение), и для каждого из значений синтезируйте соответствующий -регулятор по выходу, включающий в себя наблюдатель.

В каждом случае найдите передаточную функцию (матрицу) замкнутой системы от внешних сигналов (возмущений и помех) к регулируемому выходу, постройте для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел, найдите её нормы. Для наименьшего значения γ проведите моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях и помехах измерения.

**Решение**

Выберем четыре различных значения параметра

Матрица K регулятора:

Матрица L наблюдателя:

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

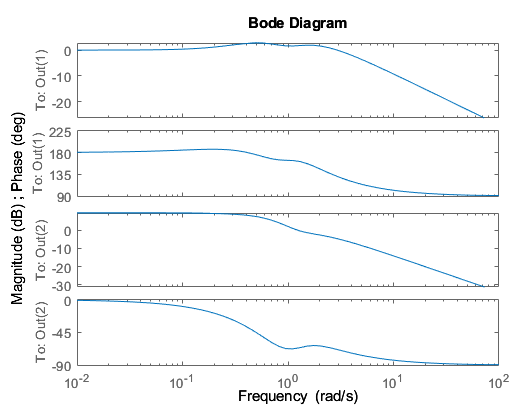


Рисунок 33. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 34. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Матрица K регулятора:

Матрица L наблюдателя:

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, График, Шрифт

Автоматически созданное описание

Рисунок 35. АЧХ компонент передаточной матрицы

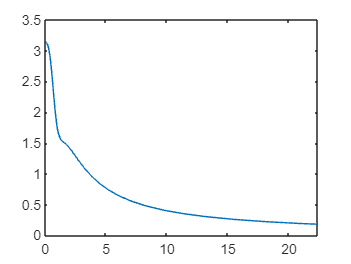


Рисунок 36. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Синтезируйте -регулятор по состоянию

Матрица K регулятора:

Матрица L наблюдателя:

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 37. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 38. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

Синтезируйте -регулятор по состоянию

Матрица K регулятора:

Матрица L наблюдателя:

Далее построим для неё графики покомпонентных АЧХ и график сингулярных чисел

Изображение выглядит как текст, линия, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 39. АЧХ компонент передаточной матрицы

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 40. График сингулярных чисел

Вычислим нормы и

=

## Моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях для

Для наименьшего значения γ проведем моделирование замкнутой системы при внешних возмущениях и помехах измерения.

Изображение выглядит как линия, График, текст, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 41. График системы при импульсной помехе

Изображение выглядит как линия, График, текст, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 42. График системы при step-помехе

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 43. График системы при синусоидальной помехе, при частоте =1

**Вывод:** аналогично предыдущему заданию -регулятор по выходу делает устойчивой замкнутую систему, а также гарантирует,  
 что -норма системы будет меньше или равна , если это возможно осуществить, что подтверждается полученными значениями.   
В задание было изменено , так как при не выполнялось условие согласованности .