

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Ф. УТКИНА**

Кафедра «Автоматики и информационных технологий в управлении»

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

***АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ***

Направление 27.03.04

«Управление в технических системах»

ОПОП

«Управление в технических системах»

Квалификация выпускника – бакалавр

Форма обучения – очная

Рязань 2023 г.

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимися в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретённых обучающимися на практических занятиях и лабораторных работах. При выполнении лабораторных работ применяется система оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ по дисциплине определено графиком, утвержденным заведующим кафедрой.

На практических занятиях допускается использование либо системы «зачтено – не зачтено», либо рейтинговой системы оценки, при которой, например, правильно решенная задача оценивается определенным количеством баллов. При поэтапном выполнении учебного плана баллы суммируются. Положительным итогом выполнения программы является определенное количество набранных баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением экзамена. Форма его проведения – устный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса и одна задача. В процессе подготовки к устному ответу экзаменуемый может составить в письменном виде план ответа, включающий в себя определения, выводы формул, рисунки и т.п.

### Паспорт оценочных материалов по дисциплине

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)                 | Код контролируемой компетенции и (или её части) | Вид, метод, форма оценочного мероприятия |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1     | 2                                                                                 | 3                                               | 4                                        |
| 1     | Обзор инструментальных средств пакета MATLAB для проектирования систем управления | ОПК-6.1-3<br>ОПК-6.1-У<br>ОПК-6.1-В             | Экзамен                                  |
| 2     | Формы представления математических моделей систем                                 | ОПК-3.1-3<br>ОПК-3.1-У<br>ОПК-3.1-В             | Экзамен<br>Зачет по лаб. работе          |

|   |                                                                                    |                                                                                                                           |                                                                              |
|---|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                    | ОПК-3.2-3<br>ОПК-3.2-У<br>ОПК-3.2-В                                                                                       | Выполнение<br>практ. задан.                                                  |
| 3 | Характеристики систем                                                              | ОПК-3.1-3<br>ОПК-3.1-У<br>ОПК-3.1-В<br><br>ОПК-3.2-3<br>ОПК-3.2-У<br>ОПК-3.2-В                                            | Экзамен<br><br>Зачет по лаб.<br>работе<br><br>Выполнение<br>практ. задан.    |
| 4 | Качество системы второго порядка                                                   | ОПК-3.1-3<br>ОПК-3.1-У<br>ОПК-3.1-В<br><br>ОПК-3.2-3<br>ОПК-3.2-У<br>ОПК-3.2-В                                            | Экзамен<br><br>Зачет по лаб.<br>работе<br><br>Выполнение<br>практ. задан.    |
| 5 | Основные возможности средства Sisotool/<br>MATLAB                                  | ОПК-3.1-3<br>ОПК-3.1-У<br>ОПК-3.1-В<br><br>ОПК-3.2-3<br>ОПК-3.2-У<br>ОПК-3.2-В<br><br>ОПК-6.1-3<br>ОПК-6.1-У<br>ОПК-6.1-В | Экзамен<br><br>Задание для<br>сам. Работы<br><br>Выполнение<br>практ. задан. |
| 6 | Синтез регулятора обратной связи и<br>предварительного фильтра                     | ОПК-3.1-3<br>ОПК-3.1-У<br>ОПК-3.1-В<br><br>ОПК-3.2-3<br>ОПК-3.2-У<br>ОПК-3.2-В                                            | Экзамен<br><br>Зачет по лаб.<br>работе                                       |
| 7 | Оптимизация параметров регулятора с помощью<br>пакета Simulink Design Optimization | ОПК-3.1-3<br>ОПК-3.1-У<br>ОПК-3.1-В<br><br>ОПК-3.2-3<br>ОПК-3.2-У<br>ОПК-3.2-В<br><br>ОПК-6.1-3<br>ОПК-6.1-У<br>ОПК-6.1-В | Экзамен<br><br>Зачет по лаб.<br>работе                                       |

### Критерии оценивания компетенций (результатов)

- 1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
- 2) Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.

3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.

4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям.

5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Уровень освоения сформированности знаний, умений и навыков по дисциплине оценивается в форме бальной оценки:

**«Отлично»** заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, изучивший основную, и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

**«Хорошо»** заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

**«Удовлетворительно»** заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

**«Неудовлетворительно»** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## Типовые контрольные задания или иные материалы

### Вопросы к экзамену

1. Справочник по функциям **MATLAB**. Доступ к функциям пакета **Control System**.
2. Технология создания моделей в пакете **SIMULINK**. Управление сеансом моделирования.
3. Основные возможности блока **Scope**. Вызов скрытого меню.
4. Математические модели систем. Функции **tf**, **zpk**, **ss**. Привести примеры использования этих функций.
5. Передаточная функция. Функции **tf** и **tfdata**. Привести примеры.
6. Представление полиномов в **MATLAB**. Функции **roots**, **conv**, **polyval**. Привести примеры.
7. Нули и полюсы передаточной функции. Функции **pzmap**, **pole** и **zero**. Привести примеры.

8. Формы представления передаточной функции (**Time Constant, Natural Frequency, Zero/Pole/Gain**). Привести примеры.
9. Модели в переменных состояния. Функции **ss** и **rss**. Привести пример.
10. Преобразование структурных схем. Функции **series, parallel, feedback**. Привести примеры.
11. Соединение элементов с обратной связью. Функции **feedback** и **minreal**. Привести примеры.
12. Временные характеристики звеньев и систем автоматического управления. Функции **step, stepfun** и **impulse**. Привести примеры.
13. Показатели качества переходного процесса. Функция **step**. Привести пример.
14. Определение реакции модели на произвольное входное воздействие. Функции **gensig** и **lsim**. Привести примеры.
15. Частотные характеристики звеньев и систем автоматического управления. Функции **linspace** и **logspace**. Функция **bode**. Привести примеры.
16. Диаграмма Найквиста и годограф Никольса. Функции **nyquist** и **nichols**. Привести примеры.
17. Запасы устойчивости по фазе и амплитуде. Функция **margin**. Привести пример.
18. Определение временных и частотных характеристик в **SIMULINK**. Привести пример.
19. Понижение порядка моделей. Функции **balreal** и **modred**. Привести пример.
20. Корневой годограф. Функция **rlocus**. Привести пример.
21. Определить передаточную функцию системы 2-го порядка. В одном окне получить переходные характеристики для нескольких значений коэффициента затухания  $\xi$ . Для выбранных значений  $\xi$  теоретически определить значения перерегулирования  $\sigma\%$  и сравнить их с результатами экспериментов.
22. Частотные оценки качества. Привести пример определения показателя колебательности  $M$  и быстродействия по АЧХ замкнутой системы.
23. Корневые оценки качества. Для системы 2-го порядка с различными значениями  $\eta$  определить переходные характеристики. Вычислить для данных значений  $\eta$  теоретические значения времени регулирования и сравнить с результатами эксперимента.
24. Корневые оценки качества. Для системы 2-го порядка с различными значениями  $\mu$  (при фиксированном  $\eta$ ) определить переходные характеристики и соответствующие значения перерегулирования  $\sigma\%$ .
25. Определить передаточную функцию системы 2-го порядка. Ввести в систему вещественный нуль и продемонстрировать его влияние на показатели качества переходного процесса.
26. Определить передаточную функцию системы 2-го порядка. Ввести в систему вещественный полюс и продемонстрировать его влияние на показатели качества переходного процесса.
27. Продемонстрируйте возможные способы загрузки моделей в средство **SISOTOOL**.
28. Построение временных и частотных характеристик в средстве **SISOTOOL**. Привести пример.
29. Построение границ желаемой области расположения полюсов проектируемой системы в средстве **SISOTOOL**. Привести пример.
30. Пояснить сущность метода логарифмических частотных характеристик применительно к средству **SISOTOOL**.
31. Продемонстрируйте возможные способы задания нулей и полюсов регулятора в средстве **SISOTOOL**.
32. С помощью средства **SISOTOOL** продемонстрируйте способ уменьшения колебательности за счёт компенсации нуля передаточной функции замкнутой системы с использованием предварительного фильтра.

33. ПИД-регуляторы. Методика настройки параметров ПИД-регулятора по методу переходной характеристики Циглера-Николса.

### Задачи к экзамену

1. Решить с помощью SIMULINK следующую систему линейных уравнений:
- $$\begin{cases} 5x + 6y + 10z = 4 \\ -3x + 14z = 10 \\ -7y + 21z = 0 \end{cases}$$

2. Дана система линейных алгебраических уравнений ( $Ax=B$ ):
- $$\begin{cases} 0,5x_1 + 4x_2 = 5 \\ x_1 - 2x_2 = 1 \end{cases}$$

Получите решение данной системы с помощью SIMULINK и определите матрицу  $A^{-1}$ .

3. С помощью блоков SIMULINK сформируйте следующую функцию на интервале времени  $t = 0 \div 5$  с:

$$y(t) = 2 \sin(5t + 20^\circ) + 5t - 2t^2.$$

Результаты моделирования сохраните с помощью скрытого меню блока Scope.

4. С помощью блоков SIMULINK сформируйте следующую функцию на интервале времени  $t = 0 \div 20$  с:

$$y(t) = 2 + 0,5t + 4 \sin(3t - 30^\circ).$$

Результаты моделирования сохраните с помощью скрытого меню блока Scope.

5. Передаточная функция системы в разомкнутом состоянии имеет вид:

$$W(s) = \frac{10}{s(0,1s + 1)}.$$

С помощью SIMULINK определите установившуюся ошибку на входной сигнал  $x(t) = 5t$ .

6. Передаточная функция системы в разомкнутом состоянии имеет вид:

$$W(s) = \frac{2}{(s + 1)(0,1s + 1)}.$$

С помощью SIMULINK определите установившуюся ошибку на входной сигнал  $x(t) = 3 * 1(t)$ . Результаты моделирования сохраните с помощью скрытого меню блока Scope.

7. Даны два полинома:

$$p(s) = s^3 + 2s + 1,$$

$$q(s) = s^2 + 3s + 1.$$

С помощью MATLAB вычислите следующее:

- корни полинома  $p(s)$ ;
- $p(s) * q(s)$ ;
- полюсы и нули  $W(s) = \frac{q(s)}{p(s)}$ ;
- $p(-2)$ .

8. Даны два полинома:  
 $p(s) = s^3 + 4s^2 + 1$ ,  
 $q(s) = s + 1$ .

С помощью MATLAB вычислите следующее:

- корни полинома  $p(s)$ ;
- $p(s) * q(s)$ ;
- полюсы и нули  $W(s) = \frac{q(s)}{p(s)}$ ;
- $p(-1)$ .

9. Введите в MATLAB передаточную функцию  $W(s) = \frac{10(s+1)}{s(0,1s+1)}$  в **tf**-форме.

Преобразуйте данную передаточную функцию в **zpk** и **ss** формы. Определите переходную характеристику и диаграмму Боде.

10. Введите в MATLAB передаточную функцию  $W(s) = \frac{100(s+1)}{s(s+10)}$  в **zpk**-форме.

Преобразуйте данную передаточную функцию в **tf** и **ss** формы. Определите переходную характеристику и диаграмму Боде.

11. С помощью MATLAB сформируйте устойчивую модель 2-го порядка в **ss**-форме. Преобразуйте полученную модель в **tf** и **zpk** формы. Определите переходную характеристику и диаграмму Боде.

12. Передаточная функция имеет вид:

$$W(s) = \frac{0,1s^2 + 1,1s + 1}{s^3 + 5s^2 + 5s + 1}.$$

С помощью MATLAB определите:

- диаграмму расположения полюсов и нулей  $W(s)$ ;
- значения полюсов и нулей  $W(s)$ ;
- при необходимости - получите минимальную реализацию  $W(s)$ .

13. Передаточная функция имеет вид:

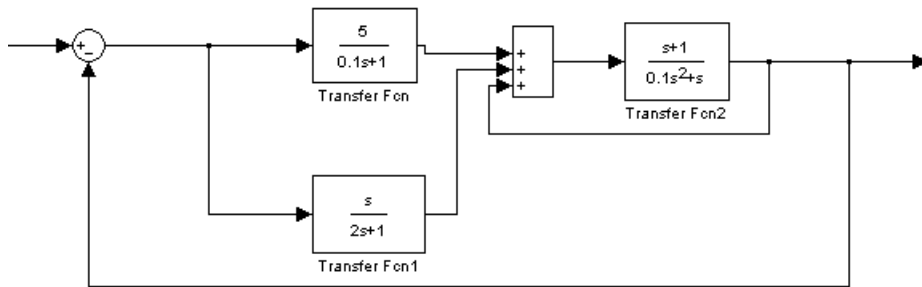
$$W(s) = \frac{0,5s^2 + 1,5s + 1}{0,5s^3 + 2,5s^2 + 3,5s + 1}.$$

С помощью MATLAB определите:

- диаграмму расположения полюсов и нулей  $W(s)$ ;

- значения полюсов и нулей  $W(s)$ ;
- при необходимости - получите минимальную реализацию  $W(s)$ .

14. Структурная схема системы управления приведена на рисунке:

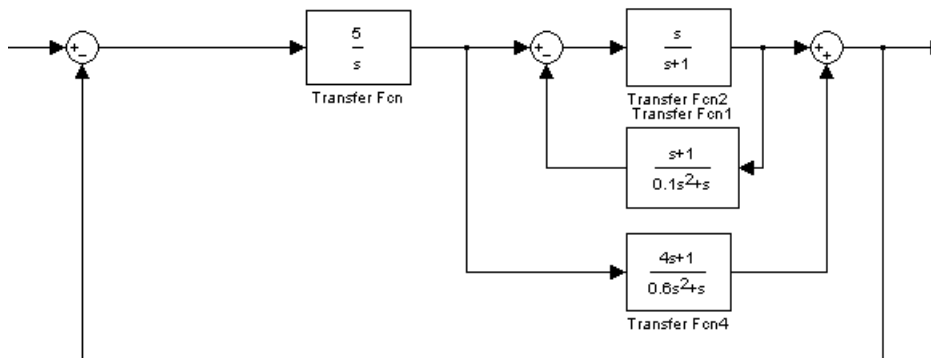


С помощью MATLAB привести данную структуру к виду:



Адекватность преобразования проверить с помощью SIMULINK по переходным характеристикам исходной и преобразованной систем.

15. Структурная схема системы управления приведена на рисунке:



С помощью MATLAB привести данную структуру к виду:



Адекватность преобразования проверить с помощью SIMULINK по переходным характеристикам исходной и преобразованной систем.

16. Система имеет передаточную функцию

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{(15/z)(s+z)}{s^2 + 3s + 15}$$

Постройте на одном графике реакции системы на сигнал  $x(t)$  в виде единичной ступенчатой функции при значениях параметра  $z=3,6$  и  $12$ . Сделайте вывод о влиянии параметра  $z$  на показатели качества переходного процесса.

17. Разомкнутая система имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{5}{s^2 + 2s + 25}.$$

Определите показатели качества переходного процесса замкнутой системы и установившуюся ошибку на единичное ступенчатое воздействие.

18. Система с передаточной функцией  $W(s) = \frac{50}{s(s+1)}$  охвачена единичной

отрицательной обратной связью. С помощью MATLAB получите переходную характеристику замкнутой системы и определите показатели качества. Чему равна установившаяся ошибка?

19. Система в замкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$\Phi(s) = \frac{10K}{s^2 + 20s + K}.$$

Постройте в одном окне переходные характеристики для  $K=10, 100$  и  $500$ . Объясните, как влияет параметр  $K$  на показатели качества переходного процесса и установившуюся ошибку.

20. С помощью функции **lsim** определите реакцию звена с передаточной функцией  $W(s) = \frac{1}{2s+1}$  на периодическую последовательность прямоугольных импульсов с единичной амплитудой и периодом  $10$  с. Рассмотрите интервал времени  $0 \leq t \leq 50$  с. Отобразите на одном графике входной сигнал звена и выходную реакцию.

21. Система в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{s+7}{s^2(s+10)}.$$

Считая, что система охвачена единичной отрицательной обратной связью, воспользуйтесь функцией **lsim** и получите реакцию замкнутой системы на входной сигнал  $x(t) = t$ . Рассмотрите интервал времени  $0 \leq t \leq 25$  с. Чему равна установившаяся ошибка?

22. Система с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{s^2 - 2s + 2}{s(s^2 + 3s + 2)}.$$

Постройте корневой годограф и определите максимальное значение коэффициента усиления  $k$ , при котором система ещё является устойчивой. Результат проверьте моделированием в пакете SIMULINK.

23. Система с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{1}{s^3 + 4s^2 + 6s + 1}.$$

Постройте корневой годограф и определите максимальное значение коэффициента усиления  $k$ , при котором система ещё является устойчивой. Результат проверьте моделированием в пакете SIMULINK.

24. Система с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{s + 20}{s^2 + 5s + 20}.$$

Постройте корневой годограф и определите значения полюсов замкнутой системы, при которых перерегулирование  $\sigma = 20\%$ . Результат проверьте моделированием в пакете SIMULINK.

25. Система с единичной отрицательной обратной связью имеет в разомкнутом состоянии передаточную функцию

$$W(s) = \frac{50}{s(s + 5)}$$

С помощью MATLAB постройте диаграмму Бode для замкнутой системы и определите ее полосу пропускания.

26. Система имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{4(1 + s/3)}{5(1 + 2s)(1 + s/7 + s^2/49)}.$$

Постройте диаграмму Бode в диапазоне  $0,1 \leq \omega \leq 10$ . Определите запасы устойчивости.

27. Система в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{K(s + 100)}{s(s + 10)(s + 40)}.$$

При  $K=500$  замкнутая система неустойчива. Покажите, что если коэффициент усиления уменьшить до значения  $K=50$ , то максимум АЧХ замкнутой системы составит 3,5 дБ. Определите запас по фазе при  $K=50$ .

28. Система в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{40(1 + 0,4s)}{s(1 + 2s)(1 + 0,24s + 0,04s^2)}.$$

Постройте диаграмму Бode и определите запасы устойчивости.

29. Система с единичной обратной связью имеет в разомкнутом состоянии передаточную функцию

$$W(s) = \frac{11K(s+10)}{s^3 + 2s^2 + 15s}.$$

Постройте диаграмму Бode и определите значение коэффициента K, при котором запас устойчивости по фазе будет равен 40°. Определите установившуюся ошибку на входной сигнал  $x(t)=t$  для данного значения K.

30. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W(s) = \frac{K}{s-1}.$$

Постройте корневой годограф и определите диапазон значений K, при которых замкнутая система будет устойчива. Постройте переходную характеристику замкнутой системы при значении K=10.

31. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W(s) = \frac{K}{s(s^2 + s + 4)}.$$

Постройте диаграмму Найквиста для нескольких значений параметра K и определите значение K, при котором система находится на границе устойчивости. Полученный результат проверьте путем моделирования в пакете SIMULINK.

32. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 1}$$

Постройте диаграммы Найквиста и Никольса и определите приблизительные значения запасов устойчивости.

33. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W(s) = \frac{24}{s^3 + 9s^2 + 26s + 24}$$

Постройте диаграммы Найквиста и Никольса и определите приблизительные значения запасов устойчивости.

34. С помощью MATLAB сформулируйте устойчивую модель 4-го порядка. Осуществите понижение порядка модели. Адекватность преобразования проверьте построением переходной характеристики и ЛЧХ для исходной и преобразованной моделей.

35. С помощью MATLAB сформулируйте устойчивую модель 3-го порядка. Осуществите понижение порядка модели. Адекватность преобразования проверьте построением переходной характеристики и ЛЧХ для исходной и преобразованной моделей.

36. Передаточные функции объекта управления и регулятора имеют вид

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)}, C(s) = \frac{78,7(s+1,2)}{s+10}.$$

Используя средство SISOTOOL, с помощью предварительного фильтра скомпенсируйте нуль передаточной функции замкнутой системы. Как изменилась колебательность системы?

37. Передаточные функции объекта управления и регулятора имеют вид

$$G(s) = \frac{20}{s(0,5s+1)}, C(s) = \frac{s/4,8+1}{s/14,4+1}.$$

Используя средство SISOTOOL, с помощью предварительного фильтра скомпенсируйте нуль передаточной функции замкнутой системы. Как изменилась колебательность системы?

### Типовые задачи для практических занятий и самостоятельной работы

#### Тема «Формы представления математических моделей систем»

1.1. Объект управления содержит тело массы  $M$  с пружиной и демпфером. Пружина имеет жесткость  $C$ . Коэффициент вязкого трения (демпфирования) демпфера обозначим  $H$ . Тело перемещается с помощью двигателя постоянного тока, который создает усилие  $f(t)$ . Уравнение баланса сил, приложенных к массе, даёт следующую модель объекта управления:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = f(t) - H \frac{dx}{dt} - Cx.$$

Определить передаточную функцию ОУ  $W(p) = X(p)/F(p)$ .

1.2. Определить передаточную функцию дифференцирующей  $RC$ -цепи. Принять  $R = 20 \text{ кОм}$ ,  $C = 1 \text{ мкФ}$ .

1.3. Определить передаточную функцию интегрирующей  $RC$ -цепи. Принять  $R = 40 \text{ кОм}$ ,  $C = 5 \text{ мкФ}$ .

1.4. Определить значения нулей и полюсов передаточной функции

$$W(p) = \frac{(5p+1)}{p(p+1)(0,4p+1)}.$$

Ввести указанную ПФ в Matlab с помощью функций tf и zpk.

1.5. Определить коэффициент усиления  $k$  и порядок астатизма  $\nu$  для звена с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{p+6}{p^2+2p}.$$

1.6. Дифференциальное уравнение звена 2-го порядка имеет вид:

$$2\ddot{y}(t) + \dot{y}(t) + 3y(t) = 5u(t).$$

Определить передаточную функцию  $W(p) = Y(p)/U(p)$ .

1.7. Передаточная функция объекта управления имеет вид:

$$W(p) = \frac{(5p+1)}{p(p+1)^2}.$$

Определить исходное дифференциальное уравнение.

1.8. Даны два полинома:

$$p(s) = s^4 + 2s + 1,$$

$$q(s) = s^2 + 3s + 1.$$

С помощью MATLAB вычислите следующее:

- корни полинома  $p(s)$ ;
- $p(s) * q(s)$ ;

$$W(s) = \frac{q(s)}{p(s)};$$

- полюсы и нули
- $p(-2)$ .

1.9. Даны два полинома:

$$p(s) = s^3 + 4s^2 + 1,$$

$$q(s) = s^2 + 1.$$

С помощью MATLAB вычислите следующее:

- корни полинома  $p(s)$ ;
- $p(s) * q(s)$ ;

$$W(s) = \frac{q(s)}{p(s)};$$

- полюсы и нули
- $p(-1)$ .

$$W(s) = \frac{10(s+1)}{s(0,1s+1)}$$

1.10. Введите в MATLAB передаточную функцию в **tf**-форме. Преобразуйте данную передаточную функцию в **zpk** и **ss** формы.

**Тема «Характеристики систем»**

2.1. Определить переходную характеристику  $h(t)$  для звена с передаточной функцией:  $W(p) = \frac{10}{(0,1p+1)(p+1)}$ .

2.2. Определить весовую функцию  $w(t)$  для звена с передаточной функцией:  $W(p) = \frac{20}{p(p+1)}$ .

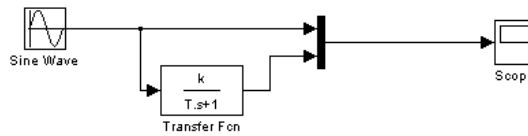
2.3. Определить все частотные характеристики для дифференцирующей  $RC$ -цепи. Принять  $R = 20 \text{ кОм}$ ,  $C = 1 \text{ мкФ}$ .

2.4. Определить все частотные характеристики для интегрирующей  $RC$ -цепи. Принять  $R = 40 \text{ кОм}$ ,  $C = 5 \text{ мкФ}$ .

2.5. Для звена с передаточной функцией  $W(p) = \frac{10(0,6p+1)}{p(2p+1)}$  определить выражения для  $R(\omega)$  и  $\varphi(\omega)$ . Построить асимптотическую ЛАЧХ.

2.6. Для звена с передаточной функцией  $W(p) = \frac{10}{p(p+1)}$  с помощью Matlab определить диаграмму Боде и диаграмму Найквиста.

2.7. С помощью Simulink/Matlab экспериментально снять амплитудно-фазовую характеристику апериодического звена 1-го порядка. Параметры звена получить у преподавателя.



При моделировании частоту генератора гармонического сигнала менять в диапазоне от 1 до 100 рад/с.

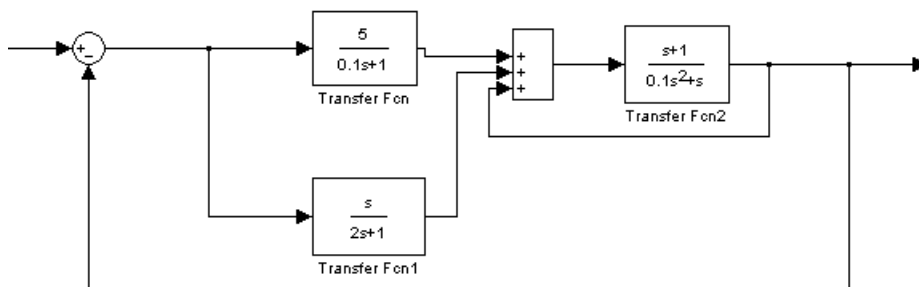
2.8. Передаточная функция объекта управления имеет вид:

$$W(p) = \frac{5p+1}{p(p+1)}.$$

С помощью Simulink/Matlab определить переходную характеристику, логарифмические частотные характеристики, диаграмму Найквиста и расположение нулей и полюсов.

2.9. С помощью MATLAB сформируйте устойчивую модель 2-го порядка в ss-форме. Преобразуйте полученную модель в tf и zpk формы. Определите переходную характеристику и диаграмму Боде.

2.10. Структурная схема системы управления приведена на рисунке:



С помощью MATLAB привести данную структуру к виду:



Адекватность преобразования проверить с помощью SIMULINK по переходным характеристикам исходной и преобразованной систем.

### Тема «Качество системы второго порядка»

3.1. ПФ разомкнутой системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{20}{p(5p+1)}.$$

Определить установившуюся ошибку воспроизведения следующих задающих воздействий:  $v_1(t) = 2 * 1(t)$  и  $v_2(t) = 5t$ .

3.2. ПФ разомкнутой системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{0,5}{p(p+1)}.$$

Определить, установившуюся ошибку воспроизведения задающего воздействия  $v(t) = 2 * \sin 1t$ . Как добиться селективной инвариантности на гармонический входной сигнал?

3.3. ПФ разомкнутой системы имеет вид:  $W(p) = \frac{1}{p(0,1p + 1)}$ .

С помощью Matlab определить переходную характеристику замкнутой системы. По переходной характеристике определить показатели качества.

3.4. ПФ разомкнутой системы имеет вид:  $W(p) = \frac{1}{p(0,5p + 1)}$ .

С помощью Matlab определить ЛЧХ замкнутой системы. Перестроить график ЛАЧХ в линейном масштабе по оси ординат. Определить показатель колебательности и границу полосы пропускания.

3.5. Для двухполосной системы с передаточной функцией ( $\xi = 0,5; \omega_0 = 1$ )

$$\Phi(p) = \frac{1}{p^2 + p + 1}$$

с помощью Matlab определить переходную характеристику и величину перерегулирования. Рассчитать перерегулирование по формуле  $\frac{\xi \pi}{\sqrt{1 - \xi^2}}$

Сравнить полученное значение с результатом моделирования.

3.6. Для двухполосной системы с передаточной функцией ( $\xi = 0,5; \omega_0 = 1$ )

$$\Phi(p) = \frac{1}{p^2 + p + 1}$$

с помощью Matlab определить переходную характеристику и время регулирования для допустимой ошибки 5 %. Рассчитать время регулирования по формуле  $\frac{3}{\xi \omega_0}$

Сравнить полученное значение с результатом моделирования.

3.7. Ввести в двухполосную систему с ПФ  $\Phi(p) = \frac{1}{p^2 + p + 1}$

вещественный полюс. Приближать полюс к началу координат и определять величину перерегулирования. Сделать вывод о влиянии вещественного полюса на качество системы второго порядка.

3.8. Ввести в двухполосную систему с ПФ  $\Phi(p) = \frac{1}{p^2 + p + 1}$

вещественный нуль. Приближать нуль к началу координат и определять величину перерегулирования. Сделать вывод о влиянии вещественного нуля на качество системы второго порядка.

3.9. Система имеет передаточную функцию  $\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{(15/z)(s+z)}{s^2 + 5s + 15}$ .

Постройте на одном графике реакции системы на сигнал  $x(t)$  в виде единичной ступенчатой функции при значениях параметра  $z=3,2$  и  $12$ . Сделайте вывод о влиянии параметра  $z$  на показатели качества переходного процесса.

3.10. Система с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{s + 20}{s^2 + 5s + 20}.$$

Постройте корневой годограф и определите значения полюсов замкнутой системы, при которых перерегулирование  $\sigma = 30\%$ . Результат проверьте моделированием в пакете SIMULINK.

### Тема «Основные возможности средства Sisotool/ MATLAB»

4.1. Передаточные функции объекта управления и регулятора имеют вид

$$G(s) = \frac{5}{s(4s+1)(s+5)}, C(s) = \frac{70(s+1,2)}{s+10}.$$

Введите указанные ПФ в средство SISOTOOL.

4.2. Передаточные функции объекта управления и регулятора имеют вид

$$G(s) = \frac{5}{s(s+5)}, C(s) = \frac{20(s+1,2)}{s+10}.$$

Введите указанные ПФ в средство SISOTOOL. Отобразите графики корневого годографа и ЛЧХ разомкнутой системы.

4.3. Передаточные функции объекта управления и регулятора имеют вид

$$G(s) = \frac{5}{s(s+1)}, C(s) = \frac{10(s+1,2)}{s+10}.$$

Введите указанные ПФ в средство SISOTOOL. На плоскости корневого годографа постройте желаемую область расположения полюсов замкнутой системы для значений  $\sigma = 15\%$ ,  $t_p = 3\text{ c}$ .

4.4. Передаточные функции объекта управления и регулятора имеют вид

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+2)}, C(s) = \frac{8(s+1,2)}{s+10}.$$

Используя средство SISOTOOL, с помощью предварительного фильтра скомпенсируйте нуль передаточной функции замкнутой системы. Как изменилась колебательность системы?

4.5. Передаточные функции объекта управления и регулятора имеют вид

$$G(s) = \frac{30}{s(0,2s+1)}, C(s) = \frac{s/4,8+1}{s/14,4+1}.$$

Используя средство SISOTOOL, с помощью предварительного фильтра скомпенсируйте нуль передаточной функции замкнутой системы. Как изменилась колебательность системы?

4.6. С помощью средства SISOTOOL осуществите динамический синтез регулятора обратной связи для системы управления линейным перемещением объекта. При проектировании использовать структуру системы с двумя степенями свободы. Передаточная функция ОУ имеет вид:

$$W_1(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{k_d}{Ms^2 + Hs + C}.$$

Система управления должна обеспечить реакцию на ступенчатое задающее воздействие с перерегулированием  $\sigma \leq \sigma^*$ , временем нарастания  $t_n \leq t_n^*$  и временем регулирования  $t_p \leq t_p^*$ .

Численные значения параметров объекта управления и показателей качества приведены в следующей таблице вариантов.

| № | М, кг | Н, Нс/м | С, Н/м | $t_n, \text{с}$ | $t_p, \text{с}$ | $\sigma^*, \%$ |
|---|-------|---------|--------|-----------------|-----------------|----------------|
| 1 | 1     | 0,3     | 1      | 0,5             | 2               | 20             |
| 2 | 2     | 0,4     | 1      | 0,6             | 2               | 25             |
| 3 | 3     | 1,5     | 1      | 0,7             | 2,5             | 15             |
| 4 | 4     | 1       | 2      | 0,6             | 2               | 20             |
| 5 | 5     | 2       | 2      | 0,5             | 2,5             | 25             |
| 6 | 6     | 1,5     | 3      | 0,8             | 3               | 20             |

### Перечень лабораторных работ и вопросов для контроля

| № работы | Название лабораторной работы и вопросы для контроля                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Шифр |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | <p><b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK/MATLAB ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (4 час.)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как запустить пакет <i>Simulink</i>?</li> <li>2. Поясните структуру библиотеки блоков <i>Simulink</i>.</li> <li>3. Расскажите о назначении блоков, которые находятся в разделе <i>Sources</i> основной библиотеки <i>Simulink</i>.</li> <li>4. Поясните технологию моделирования в пакете <i>Simulink</i>.</li> <li>5. Как отобразить несколько сигналов с помощью блока <i>Scope</i>?</li> <li>6. Расскажите о командах управления сеансом моделирования.</li> <li>7. Как устранить искажения гармонического сигнала, которые наблюдаются при его отображении в блоке <i>Scope</i>?</li> <li>8. Расскажите о смысле параметров блока <i>Sine Wave</i>.</li> </ol> | 5986 |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2 | <p><b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПАКЕТА CONTROL SYSTEM/MATLAB ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗВЕНЬЕВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (4 час.)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как задать и перемножить два полинома в <b>Matlab</b>?</li> <li>2. Как определить корни полинома в <b>Matlab</b>? Приведите пример.</li> <li>3. Расскажите о вариантах использования функции <b>pzmap</b>. В чём её отличие от функций <b>pole</b> и <b>zero</b>?</li> <li>4. Какие виды <b>lti</b>-моделей используются в <b>Matlab</b>?</li> <li>5. Поясните, как задать ПФ в форме <b>tf</b>-объекта.</li> <li>6. Поясните, как задать ПФ в форме <b>zpk</b>-объекта.</li> <li>7. Расскажите об особенностях применения функции <b>feedback</b>.</li> <li>8. Поясните назначение функций <b>series</b> и <b>parallel</b>.</li> <li>9. С какой целью используется функция <b>minreal</b>?</li> <li>10. Поясните назначение функций <b>balreal</b> и <b>modred</b>.</li> </ol>                                                        | 5986 |
| 3 | <p><b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПАКЕТА CONTROL SYSTEM/MATLAB ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК И АНАЛИЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (4 час.)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Назначение и формы записи функций <b>step</b> и <b>impulse</b>.</li> <li>2. Приведите пример использования функций <b>lsim</b> и <b>gensig</b>.</li> <li>3. Как определить показатели качества переходного процесса с помощью <b>Matlab</b>?</li> <li>4. По какой характеристике и как определяются показатель колебательности и граничная частота полосы пропускания?</li> <li>5. Поясните физический смысл диаграммы Найквиста. Что указывают стрелки на годографе?</li> <li>6. Построение корневого годографа с помощью функции <b>rlocus</b>. Как определить критический коэффициент усиления разомкнутой системы?</li> <li>7. Как влияет расположение <i>действительного полюса</i> ПФ на показатели качества замкнутой системы?</li> <li>8. Как влияет расположение <i>действительного нуля</i> ПФ на показатели качества замкнутой системы?</li> </ol> | 5986 |
| 4 | <p><b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK DESIGN OPTIMIZATION / MATLAB ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (4 час.)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Назовите основные возможности пакета <i>Simulink Design Optimization</i>.</li> <li>2. Что такое оптимизируемые параметры? Как они задаются в модуле</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 5761 |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | <p><i>Response Optimization?</i></p> <p>3. Что такое неопределенные параметры? Приведите пример их задания.</p> <p>4. Поясните способы задания ограничений в блоке <i>Check Step Response Characteristics</i>.</p> <p>5. Как задать и редактировать ограничения в блоке <i>Check Custom Bounds</i>?</p> <p>6. Из каких соображений выбираются начальные значения оптимизируемых параметров? Каким образом их значения определялись в данной работе?</p> <p>7. Как задаются границы неопределённых параметров в модуле <i>Response Optimization</i>?</p> |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Составил  
старший преподаватель кафедры АИТУ

А.М. Никитин

Заведующий кафедрой  
АИТУ, к.т.н., доцент

П.В. Бабаян