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

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Специальность 15.03.06
«Мехатроника и робототехника»

ОПОП
«Мехатроника и робототехника»

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2026

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

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

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимся 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 обучающихся: на лекционных занятиях, по результатам выполнения обучающимися практических заданий и самостоятельной работы; своевременность защиты лабораторных работ. Количество лабораторных и практических работ и их тематика определена рабочей программой дисциплины, утвержденной заведующим кафедрой.

Промежуточный контроль по дисциплине проходит в форме зачёта (модуль 1) и экзамена (модуль 2). Форма проведения зачета и экзамена – устный ответ, по утвержденным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины и приобретаемых компетенций. Для более объективной проверки знаний может быть задано практическое задание на понимание основ дисциплины. Объем знаний и степень освоения компетенций на зачете оценивается по двухбалльной системе: «зачтено» и «не зачтено». По итогам сдачи экзамена выставляются оценки: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Паспорт оценочных материалов по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части)	Вид, метод, форма оценочного мероприятия
1	2	3	4
1.1	Основные определения, принципы построения и классификация систем автоматического управления	ОПК-6.1-З ОПК-6.1-У ОПК-6.1-В ОПК-4.1-З ОПК-4.1-У ОПК-4.1-В	Экзамен, лабораторная работа
1.2	Математические модели элементов и систем	ОПК-6.1-З ОПК-6.1-У ОПК-6.1-В ОПК-4.1-З ОПК-4.1-У ОПК-4.1-В	Экзамен, лабораторная работа
1.3	Характеристики элементов и систем	ОПК-6.1-З ОПК-6.1-У ОПК-6.1-В ОПК-4.1-З ОПК-4.1-У ОПК-4.1-В	Экзамен, лабораторная работа
1.4	Анализ устойчивости	ОПК-6.1-З ОПК-6.1-У ОПК-6.1-В ОПК-4.1-З ОПК-4.1-У ОПК-4.1-В	Экзамен, лабораторная работа
1.5	Анализ качества САУ	ОПК-6.1-З ОПК-6.1-У ОПК-6.1-В ОПК-4.1-З ОПК-4.1-У ОПК-4.1-В	Экзамен, лабораторная работа
1.6	Синтез линейных непрерывных САУ	ОПК-11.1-З ОПК-11.1-У ОПК-11.1-В ОПК-11.2-З ОПК-11.2-У ОПК-11.2-В ОПК-11.3-З ОПК-11.3-У ОПК-11.3-В	Экзамен, лабораторная работа

Критерии оценивания компетенций (результатов)

В рамках текущего контроля на протяжении семестра в качестве

оценочных средств используются устные и письменные ответы студентов на индивидуальные вопросы, результаты защиты практических и лабораторных работ.

Оценка степени сформированности компетенций у обучающихся на различных этапах их формирования проводится преподавателем во время проведения лекций, практических и лабораторных работ по шкале оценок «зачтено», «не зачтено».

Устанавливаются следующие уровни сформированности компетенций в рамках текущего контроля:

1) 0%-70% оценок «зачтено» соответствует неудовлетворительному уровню сформированности компетенций.

2) 71%-85% оценок «зачтено» соответствует пороговому уровню сформированности компетенций.

3) 86%-100% оценок «зачтено» соответствует продвинутому уровню сформированности компетенций.

Уровень сформированности компетенций не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

Формой промежуточной аттестации в модуле 1 по данной дисциплине является зачет. Зачет заключается в письменном ответе студента по утвержденному билету, в который включается вопрос по темам курса согласно настоящей рабочей программе. После подготовки студентом письменного ответа производится его оценка преподавателем путем устного собеседования со студентом. Для понимания полноты усвоения студентом компетенций может выдаваться практическое задание.

Формой промежуточной аттестации в модуле 2 по данной дисциплине является экзамен. Экзамен заключается в письменном ответе студента по утвержденному экзаменационному билету, в который включаются два вопроса по темам курса согласно настоящей рабочей программе. После подготовки студентом письменного ответа производится его оценка преподавателем путем устного собеседования со студентом. Для понимания полноты усвоения студентом компетенций может выдаваться практическое задание.

В процессе оценки сформированности знаний, умений и навыков обучающегося по дисциплине, производимой на этапе промежуточной аттестации в форме теоретического зачета, используется оценочная шкала «зачтено – не зачтено».

Для получения оценки «**зачтено**» обучающийся должен ответить на теоретические вопросы билета и дать корректный ответ на практическое задание; продемонстрировать общее знание изучаемого материала; знать основную рекомендуемую программой дисциплины учебную литературу; уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины. Допускается наличие погрешностей в ответе на теоретические вопросы и при выполнении практического задания в случае коррекции неточностей по указанию преподавателя.

Оценка «**не зачтено**» ставится в случае незнания обучающимся значительной части программного материала; не владения понятийным аппаратом дисциплины; при наличии существенных ошибок в изложении учебного материала; неумения построить ответ на заданный вопрос и делать выводы по излагаемому материалу. Оценка ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закрепленных за данной дисциплиной).

Отметка «**не зачтено**» выставляется также, если обучающийся после начала зачета отказался его сдавать или нарушил правила сдачи зачета (списывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.).

В процессе оценки сформированности знаний, умений и навыков обучающегося по дисциплине, производимой на этапе промежуточной аттестации в форме экзамена, выставляется оценка по следующим критериям.

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, который: продемонстрировал всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала дисциплины; умение успешно выполнять задания, предусмотренные программой; усвоил основную и ознакомился с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии; способным исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал, безупречно ответить на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, который: продемонстрировал полное знание учебно-программного материала дисциплины, умение успешно выполнять предусмотренные программой задания; усвоил основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей профессиональной деятельности; продемонстрировавшим знание всех основных теоретических понятий, дал правильный ответ на большинство дополнительных вопросов по теме билета.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, который: продемонстрировал общее знание основного учебно-программного материала дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности; справился с выполнением заданий, предусмотренных программой; ознакомился с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим ошибки в ответе на экзамене, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо способным ответить на ряд дополнительных вопросов по теме билета.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется студенту, который: не был

допущен к промежуточной аттестации по результатам текущего контроля; продемонстрировал незнание значительной части основного учебно-программного материала дисциплины; допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий; показал отсутствие навыков в обосновании и аргументации выдвигаемых тезисов; допустил существенные ошибки при изложении учебного материала.

Типовые контрольные задания или иные материалы

Вопросы к экзамену по дисциплине

1. Основные цели и принципы управления. Объекты управления. Примеры систем ручного и автоматического управления.
2. Задачи слежения и регулирования. Факторы, влияющие на качество работы следящей системы.
3. Основные законы управления в разомкнутых и замкнутых системах.
4. Принцип управления по ошибке. Пример системы управления скоростью вращения диска.
5. Элементы систем автоматического управления. Уравнения динамики и статики. Определение состояния равновесия.
6. Линеаризация на основе гипотезы о малых отклонениях. Линеаризация уравнения маятника.
7. Уравнение звена в изображениях. Передаточная функция звена. Характеристический многочлен.
8. Временные характеристики звеньев. Весовая функция и переходная характеристика. Способы определения переходной характеристики.
9. Частотные характеристики звеньев. Амплитудно-фазовая характеристика. Логарифмические частотные характеристики.
10. Типовые линейные динамические звенья. Характеристики усилительного и интегрирующего звеньев.
11. Апериодическое звено 1-го порядка и его характеристики.
12. Звено второго порядка и его характеристики.
13. Формы представления передаточных функций. Неминимально-фазовые звенья. Построение асимптотической ЛАЧХ.
14. Способы представления динамических систем. Понятие о структурной схеме. Преобразование структурных схем.
15. Чувствительность систем управления к изменению параметров. Чувствительность разомкнутой и замкнутой систем. Функция чувствительности.
16. Чувствительность замкнутой системы к изменению параметров объекта управления и датчика.
17. Передаточные функции замкнутых одноконтурных САУ. Структура с одной степенью свободы.
18. Структура замкнутой системы с двумя степенями свободы. Функции чувствительности и соотношения между ними.

19. Понятие об устойчивости. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость.
20. Определение устойчивости линейной системы по виду корней характеристического уравнения. Свободное и вынужденное движение системы.
21. Теоремы А.М.Ляпунова об устойчивости нелинейной системы по уравнениям первого приближения. Понятие о корневом годографе.
22. Критерии устойчивости. Критерий Гурвица.
23. Критерий устойчивости Найквиста. Случаи устойчивой и неустойчивой разомкнутой системы.
24. Критерий устойчивости Найквиста. Разомкнутая система нейтрально устойчива.
25. Определение относительной устойчивости. Запасы устойчивости и максимальная чувствительность.
26. Логарифмический критерий устойчивости.
27. Устойчивость систем управления с запаздыванием.
28. Понятие о качестве системы управления. Точность работы САУ в установившемся режиме. Ошибка воспроизведения и ошибка по возмущению.
29. Определение установившейся ошибки воспроизведения при отработке типовых задающих воздействий.
30. Определение установившейся ошибки по возмущению при отработке типовых задающих воздействий. Обеспечение астатизма системы по возмущению.
31. Понятие об инвариантных системах. Абсолютная инвариантность к задающему воздействию.
32. Селективная абсолютная инвариантность. Принцип внутренней модели.
33. Анализ качества переходного процесса САУ при ступенчатом входном воздействии.
34. Частотные методы оценки качества переходного процесса. Оценка качества переходного процесса по АЧХ замкнутой системы.
35. Оценка качества переходного процесса по ЛЧХ разомкнутой системы.
36. Корневые методы оценки качества переходного процесса.
37. Качество системы второго порядка.
38. Влияние третьего полюса и нуля на характеристики системы второго порядка.

Тестовые задания к экзамену

Разработано несколько вариантов тестов. Один из вариантов приведён ниже.

1) Показатель колебательности M определяется по:

а) АЧХ замкнутой системы; б) переходной характеристике замкнутой системы;

в) АФХ разомкнутой системы; г) полюсам замкнутой системы.

2) Показатель колебательности M используется для:

а) оценки быстродействия; б) оценки запаса устойчивости;

в) оценки точности системы; г) оценки помехоустойчивости.

3) Чему равно значение ЛАЧХ разомкнутой системы на *частоте среза*?

а) $L(\omega_c) = 0\ дБ$; б) $L(\omega_c) = 1\ дБ$;

в) $L(\omega_c) = 20\ дБ$; г) $L(\omega_c) = 40\ дБ$.

4) По известному запасу по фазе γ^o можно приближённо определить:

а) время регулирования; б) перерегулирование;

в) установившуюся ошибку; г) коэффициент усиления.

5) По известной частоте среза ω_c можно приближённо определить:

а) время регулирования; б) перерегулирование;

в) установившуюся ошибку; г) коэффициент усиления.

6) ЛАЧХ разомкнутой системы $L(\omega)$ для случая *устойчивой замкнутой_системы* пересекает, как правило, ось частот с *наклоном*:

а) -10 дБ/дек; б) -20 дБ/дек;

в) -40 дБ/дек; г) -60 дБ/дек.

7) *Степень устойчивости* η определяется по:

а) АФХ разомкнутой системы; б) ЛАЧХ разомкнутой системы;

в) диаграмме полюсов замкнутой системы;

г) переходной характеристике замкнутой системы.

8) *Степень устойчивости* η служит:

а) для оценки чувствительности; б) для оценки быстродействия;

в) для оценки помехоустойчивости; г) для оценки запасов устойчивости.

9) *Степень колебательности* μ определяется как:

а) $\mu = \min\limits_i \dfrac{\alpha_i}{\beta_i}$; б) $\mu = \min\limits_i \dfrac{\beta_i}{\alpha_i}$;

в) $\mu = \max\limits_i \dfrac{\alpha_i}{\beta_i}$; г) $\mu = \max\limits_i \dfrac{\beta_i}{\alpha_i}$,

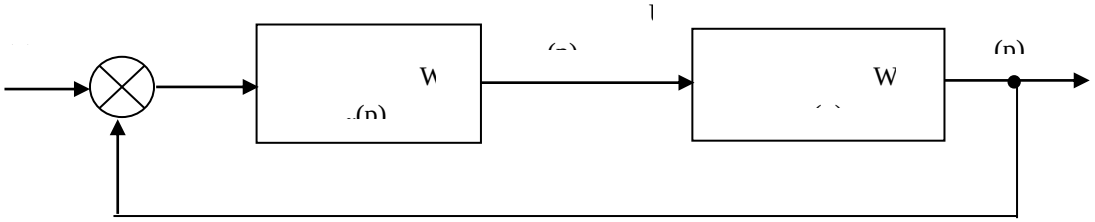
где $p_{i,i+1} = -\alpha_i \pm j\beta_i$ - комплексно-сопряжённые корни характеристического уравнения.

10) Чем *больше* величина μ, тем:

а) меньше время регулирования; б) больше время регулирования;

в) меньше перерегулирование; г) больше перерегулирование.

11) Структурная схема проектируемой системы представлена на рисунке, где $W_1(p)$ - ПФ объекта управления, $W_y p)$ - ПФ корректирующего устройства.



ЛАЧХ разомкнутой *скорректированной* системы определяется как:

а) $L(\omega) = L_y(\omega) L_1(\omega)$; б) $L(\omega) = L_y(\omega) - L_1(\omega)$;

в) $L(\omega) = L_y(\omega) + L_1(\omega)$; г) $L(\omega) = L_y(\omega) / L_1(\omega)$.

12) Корректирующее устройство с передаточной функцией

$$W_y(p) = \frac{K(p + z_1)}{p + p_1}.$$

обладает *опережением по фазе*, если

а) $|z_1| < |p_1|$; б) $|z_1| > |p_1|$;

в) $|z_1| = |p_1|$; г) $|z_1| \neq |p_1|$.

13) *Максимальное* значение фазового сдвига устройства с *опережением* по фазе имеет место на частоте:

а) $\omega_m = \sqrt{z_1 + p_1}$; б) $\omega_m = \sqrt{z_1 p_1}$;

в) $\omega_m = \sqrt{z_1 / p_1}$; г) $\omega_m = \sqrt{z_1 - p_1}$.

14) Устройство с *опережением* по фазе обычно применяется для:

а) повышения точности; б) увеличения запасов устойчивости;

в) уменьшения чувствительности; г) повышения помехоустойчивости.

15) Устройство с *опережением* по фазе *не применяется*, когда:

а) запас по фазе нескорректированной системы имеет малое значение;

б) фазовая характеристика нескорректированной системы изменяется незначительно в окрестности частоты ω_c;

в) фазовая характеристика нескорректированной системы резко падает в окрестности частоты ω_c;

г) точность работы системы в установившемся режиме удовлетворяет заданным требованиям.

16) Корректирующее устройство с передаточной функцией

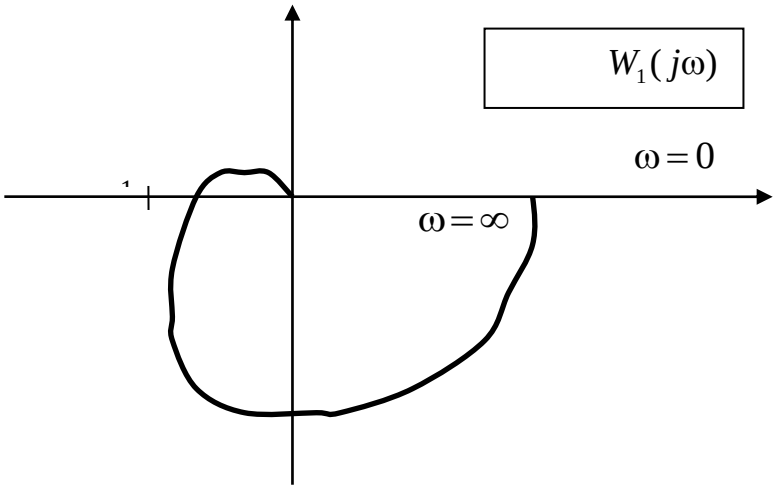
$$W_y(s) = \frac{1 + s/\omega_0}{1 + s/\omega_p}.$$

обладает *отставанием по фазе*, если

а) $|\omega_0| < |\omega_p|$; б) $|\omega_0| > |\omega_p|$;

в) $|\omega_0| = |\omega_p|$; г) $|\omega_0| \neq |\omega_p|$.

17) В какой из областей АФХ *нескорректированной системы* целесообразно разместить нуль и полюс регулятора с отставанием по фазе?



а) A; б) B;

в) C; г) на рисунке не показана.

18) Регулятор с *отставанием* по фазе применяется для:

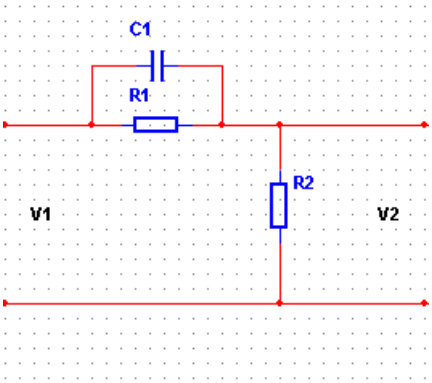
а) повышения точности системы при сохранении или увеличении запаса устойчивости по фазе;

б) повышения быстродействия;

в) обеспечения робастности;

г) получения апериодической реакции.

19) С помощью данной цепи можно реализовать:



а) устройство с опережением по фазе; б) устройство с отставанием по фазе;

в) интегрирующее устройство; г) усилительное устройство.

20) Определите передаточную функцию *идеального* ПИД-регулятора:

а) $W_{ПИД}(s) = \frac{s+1}{s(5s+1)}$; б) $W_{ПИД}(s) = \frac{s^3+s^2+s+1}{s}$;

в) $W_{ПИД}(s) = \frac{s^2+s+1}{s(s+1)}$; г) $W_{ПИД}(s) = \frac{s^2+3s+1}{s}$.

21) *Увеличение* коэффициента усиления П-регулятора повышает:

а) точность системы; б) запасы устойчивости;

в) помехоустойчивость; г) порядок астатизма.

22) *Увеличение* постоянной интегрирования T_i ПИ-регулятора:

а) увеличивает колебательность;

б) уменьшает колебательность;

в) повышает точность воспроизведения постоянного задающего воздействия;
г) ухудшает точность воспроизведения постоянного задающего воздействия.

23) *Дифференциальная* составляющая ПИД-регулятора используется с целью:

а) повысить точность системы; б) повысить помехоустойчивость;

в) повысить быстродействие; г) уменьшить управляющее воздействие.

24) Какой из методов *автоматической* настройки ПИД-регуляторов позволяет добиться в интерактивном режиме требуемого значения перерегулирования и времени регулирования?

а) Ziegler-Nichols step response; б) Chien-Hrones-Reswick;

в) Approximate MIGO frequency response; г) Robust response time.

25) Какая из *характеристик объекта управления* используется для *автоматической* настройки ПИД-регуляторов по методу Ziegler-Nichols step response?

а) весовая функция; б) переходная характеристика;

в) амплитудно-фазовая характеристика;

г) логарифмические частотные характеристики.

26) Настройка параметров ПИД-регулятора *по методу частотных характеристик Циглера-Николса* применима*:*

а) для любых объектов, как устойчивых, так и неустойчивых;

б) только для устойчивых объектов и для объектов с интеграторами;

в) только для объектов с запаздыванием;

г) для объектов не выше второго порядка.

27. Все корни характеристического уравнения можно разместить *в заданных точках плоскости корней* только в том случае, когда система является:

а) устойчивой;

б) робастной;

в) инвариантной;

г) управляемой и наблюдаемой.

28. Решение задачи *модального управления* осуществляется с помощью управления вида:

а) $u(t) = -\beta\, x(t)$; б) $u(t) = -y(t)$;

в) $u(t) = v(t) - y(t)$; г) $u(t) = -x(t)$.

29. *Наблюдатель состояния* предназначен для:

а) реализации закона управления;

б) определения коэффициентов обратной связи по состоянию;

в) оценки переменных состояния;

г) формирования выходного сигнала.

Перечень лабораторных работ и вопросов для контроля

№ работы	Название лабораторной работы и вопросы для контроля	Шифр
1	Исследование характеристик динамических звеньев линейных САУ (4 час.) 1. Пояснить физический смысл амплитудно-фазовой характеристики. 2. Передаточная функция звена имеет вид: $W(s) = \frac{10}{3s^2 + 4s + 1}$. Определить характеристику h(t). 3. Построить асимптотическую ЛАЧХ для звеньев с передаточными функциями	5761

	а) $W_1(s)=\frac{10(0.1s+1)}{s(0.01s+1)}$, б) $W_2(s)=\frac{10s}{(0.1s+1)(s+1)}$. Определить характеристики R(ω) и φ(ω). 4. Объяснить способ экспериментального определения параметров апериодического звена 1-го порядка по переходной характеристике. 5. На вход звена с передаточной функцией W(s)=10s/(0,1s+1) подается входной сигнал V(t)=0,1sin(10t+20°). Определить выходной сигнал звена.	
2	Исследование устойчивости систем автоматического управления (4 час.) 1. Как получают уравнение $\dot{x}=F(x(t))$ приведенной системы? 2. Каким образом исходное уравнение приведенной системы линеаризуется? 3. В каких случаях по корням характеристического уравнения линеаризованной системы можно определить устойчивость тривиального решения приведенной системы, а в каких нельзя? 4. По критерию Гурвица сформулируйте условия, при которых характеристическое уравнение имеет: а) левые корни; б) правые; в) корни на мнимой оси. 5. Сформулируйте условия устойчивости, неустойчивости, границы устойчивости, используя АФХ разомкнутой системы. 6. Используя аналогию между АФХ разомкнутой системы и ее ЛЧХ, сформулируйте условия устойчивости, неустойчивости, используя ЛЧХ разомкнутой системы. 7. Поясните термин критический коэффициент усиления и укажите методику его определения по критериям Гурвица и Найквиста. 8. Определите термин запасы устойчивости по амплитуде и фазе. Укажите методики их определения по критерию Найквиста. 9. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид: $W(s)=\frac{10}{s^2(s+1)}$. Определить устойчивость замкнутой системы по критерию Найквиста. 10. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид: $W(s)=\frac{10}{s^3+2s^2+3s+1}$. Определить устойчивость замкнутой системы по критерию Гурвица.	5761
3	Анализ точности систем автоматического управления (4 час.) 1. Определение статической, скоростной ошибок и ошибки по ускорению, понятие статической и астатической системы. 2. Как влияет коэффициент усиления системы на ошибки воспроизведения степенных задающих воздействий? 3. Определить значение установившейся ошибки замкнутой системы с ПФ $\Phi(s)=4{,}8/(s+5)$ при задающем воздействии вида:	5761

	а) v(t)=5·1(t), t≥0; б) v(t)=2sin t, t≥0. 4. Определить коэффициент усиления и порядок астатизма системы управления, если ПФ ошибки $\Phi_\varepsilon(s)=\frac{2s^2+s}{2s^2+s+10}$. 5. Как можно устранить установившуюся ошибку от постоянного возмущающего воздействия? 6. Чем достигается астатизм системы управления относительно возмущения? 7. Дать понятие селективной инвариантности системы по отношению к гармоническому воздействию.	
4	Исследование качества линейной системы автоматического управления (4 час.) 1. Как определяются прямые показатели качества системы управления в переходном режиме? 2. Как найти запас устойчивости по модулю и запас устойчивости по фазе на АФХ и ЛЧХ разомкнутой системы? 3. Как влияет длина среднечастотного участка ЛАЧХ разомкнутой системы на величину запаса устойчивости по фазе и как это связано с показателем колебательности М на АЧХ замкнутой системы? 4. Дать понятие доминирующих полюсов. 5. Как найти оценку времени регулирования t_p , если: а) доминирующим является вещественный полюс замкнутой системы; б) доминирующим является пара комплексно-сопряженных полюсов замкнутой системы. 6. Чему равно перерегулирование σ,% в системе, если: а) все полюсы системы вещественные отрицательные; б) есть пара доминирующих комплексно-сопряженных левых полюсов (остальные вещественные).	5761

План практических занятий

1. Методика решения задач по теме «ПИД-регуляторы».
2. Методика решения задач по теме «Классические методы синтеза линейных САУ».
3. Методика решения задач по теме «Синтез систем с обратной связью по состоянию».
3. Контрольное занятие.

Типовые задачи для практических занятий и самостоятельной работы

Тема «ПИД-регуляторы»

1. Осуществить настройку ПИД-регулятора по методу переходной характеристики разомкнутой системы Циглера-Николса.

1.1. Запустите систему MATLAB 7.11.0 (R2010b). Введите в командное окно

MATLAB в tf-форме передаточную функцию объекта управления

$$W_1(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)},$$

как w11=tf(k,[T_1*T_2 T_1+T_2 1]). Численные значения параметров передаточной функции выберите из табл. 1 в соответствии со своим вариантом.

1.2. С помощью команды [y,t]=step(w11) снимите переходную характеристику разомкнутой системы. В командном окне вы увидите элементы вектора y и t.

1.3. Установите границы для времени нарастания (5-70% от установившегося значения переходной характеристики), используя команду s=stepinfo(y,t,'RiseTimeLimits',[0.05 0.7]).

1.4. Проведите идентификацию объекта управления для того, чтобы определить параметры ПИД-регулятора по методам настройки, изложенным в разделе 2.7. В системе MATLAB процедуру идентификации можно выполнить с помощью следующих команд:

- T=s.RiseTime - параметр T определяем как время нарастания переходной характеристики разомкнутой системы;
- k=y(end);
- [junk,ind]=max(diff(y)) - возвращает значение максимальной разности между элементами вектора y и её порядковый номер;
- slope=(y(ind+1)-y(ind))/(t(ind+1)-t(ind)) - определяем тангенс максимального угла наклона касательной;
- a=slope*t(ind+1)-y(ind+1)
- L=a/slope

1.5. Вычислите параметры ПИД-регулятора $K, T_i \; u \; T_d$ и запишите его передаточную функцию с полученными значениями параметров $P, I \; u \; D$.

2. Определить переходную характеристику замкнутой системы с помощью моделирования в пакете Simulink.

2.1. Запустите пакет Simulink**.** Соберите схему моделирования, представленную на рис. 1.1.

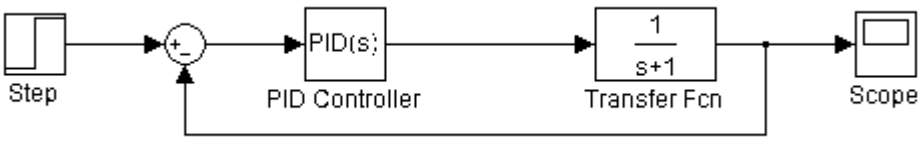


Рис. 1.1

2.2. Введите в блок Transfer Fcn передаточную функцию объекта управления, а в блок PID Controller - рассчитанные значения параметров передаточной функции ПИД-регулятора $P, I \; u \; D$. В поле Filter coefficient(N) введите значение

$N = 1/T_F = 1/(0{,}1T_d)$. В блоке Step установите параметр Step time=0. Запустите процесс моделирования и наблюдайте переходную характеристику в блоке Scope. Сохраните результаты моделирования.

3. Осуществить настройку ПИД-регулятора по методу CHR.

3.1. Рассчитайте параметры передаточной функции ПИД-регулятора.

3.2. Проведите моделирование замкнутой системы аналогично п. 2.

4. Осуществить настройку ПИД-регулятора по методу AMIGO step response.

4.1. Рассчитайте параметры передаточной функции ПИД-регулятора $P, I \; u \; D$.

4.2. Проведите моделирование замкнутой системы аналогично п. 2.

5. Выполнить настройку ПИД-регулятора по методу частотных характеристик Циглера-Николса.

5.1. В качестве модели объекта управления используйте следующую передаточную функцию:

$$W_1(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}.$$

Численные значения параметров передаточной функции приведены в табл. 2.

5.2. Введите в командное окно MATLAB передаточную функцию объекта управления в tf-форме как

w12=tf(k,[T_1*T_2*T_3 T_1*T_2+T_1*T_3+T_2*T_3 T_1+T_2+T_3 1]).

5.3. Определите критический коэффициент усиления регулятора K_u и период колебаний T_u. Для этого воспользуйтесь схемой моделирования на рис. 1.1. Введите передаточную функцию в блок Transfer Fcn и установите в блоке PID Controller $P = 1, I = D = 0, N = 100$. Запустите процесс моделирования. Увеличивайте коэффициент усиления пропорциональной составляющей P и наблюдайте за реакцией системы в блоке Scope до тех пор, пока не возникнут незатухающие колебания. После этого зафиксируйте значение $K_u = P$ и определите период колебаний T_u.

5.4. Рассчитайте параметры ПИД-регулятора и запишите его передаточную функцию.

5.5. Определите переходную характеристику замкнутой системы по методике, изложенной в п. 2. Сохраните результаты моделирования.

6. Выполните настройку ПИД-регулятора по методу AMIGO frequency response.

6.1. С помощью команды **sisotool** запустите средство SISO Design Tool.

6.2. В открывшемся окне Control and Estimation Tools Manager на вкладке Architecture щёлкните на кнопке System Data… и импортируйте модель объекта управления с именем **w12** в блок **G** структурной схемы системы управления. С помощью вкладки Analysis Plots отобразите в окне просмотрщика LTI Viewer for SISO Design Task логарифмические частотные характеристики разомкнутой системы (Bode). Включите сетку.

6.3. По графику $\varphi(\omega)$ найдите частоту ω_π при которой $\varphi(\omega_\pi) = -180^0$, а затем по графику $L(\omega)$ определите $L(\omega_\pi) = 20 \lg R(\omega_\pi)$, Дб. Рассчитайте $R(\omega_\pi)$.

6.4. Определите относительный коэффициент $r = R(\omega_\pi)/k$, где k - коэффициент усиления объекта управления, и период колебаний $T_u = 2\pi/\omega_\pi$. Сравните рассчитанное значение T_u с его экспериментальной оценкой, полученной при выполнении п. 5.3.

6.5. Рассчитайте параметры передаточной функции ПИД-регулятора $P, I \; u \; D$.

6.6. Проведите моделирование замкнутой системы аналогично п. 2. Сохраните результаты моделирования.

7. Осуществить автоматическую настройку ПИД-регуляторов.

7.1. Импортируйте модель объекта управления с именем **w11** в блок **G** структурной схемы системы управления.

7.2. На вкладке Analysis Plots окна Control and Estimation Tools Manager установите настройки для отображения в окне просмотрщика LTI Viewer for SISO Design Task переходной характеристики замкнутой системы (Closed Loop r to y).

7.3. Откройте вкладку Automated Tuning в окне Control and Estimation Tools Manager. В выпадающем списке Design method выберите PID Tuning. В поле Compensator справа от символа «равно» стоит коэффициент усиления регулятора (здесь отобразится полученное в ходе автоматической настройки выражение передаточной функции регулятора). В поле Specifications выберите в списке Tuning method – Classical design formulas, а в поле Design options тип регулятора Controller Type - PID with derivative filter. В выпадающем списке Formula выберите метод настройки - Ziegler-Nichols step response. Затем нажмите кнопку Update Compensator. В результате произойдет обновление в окне LTI Viewer for SISO Design Task и в поле Compensator. Зафиксируйте и сохраните для отчёта полученную передаточную функцию ПИД-регулятора.

Примечание. Передаточная функция регулятора $C(s)$ отображается в поле Compensator в zpk - форме. Чтобы преобразовать эту передаточную функцию к виду (1.3), соответствующему параллельной форме ПИД-регулятора необходимо проделать следующее. В меню File окна Control and Estimation Tools Manager выполните команду Export…, после чего экспортируйте передаточную функцию регулятора в рабочую область MATLAB, выделив строку Compensator C и щёлкнув кнопку Export to Workspace. Затем в командном окне MATLAB выполните команду pid(C).

7.4. Оценить результаты проектирования по методу переходной характеристики Циглера-Николса можно, анализируя качество переходного процесса замкнутой системы в окне LTI Viewer for SISO Design Task. Для того чтобы определить показатели качества щелкните правой кнопкой мыши в поле графика переходной характеристики и поставьте галочки напротив всех пунктов в подменю Characteristics. На графике появятся маркеры (жирные точки) и щелкните на них мышью. В результате отобража-

ются основные показатели качества системы управления. Значения показателей качества и график переходной характеристики сохраните для отчёта.

7.5. Последовательно выбирая в списке Formula методы CHR (Chien-Hrones-Reswick) и Approximate MIGO step response, и щёлкая по кнопке Update Compensator, получите передаточные функции соответствующих ПИД-регуляторов. Оцените качество системы управления аналогично п. 7.4.

7.6. Импортируйте модель объекта управления **w12** в блок **G** моделируемой архитектуры системы управления. Осуществите автоматическую настройку ПИД-регуляторов по методам Ziegler-Nichols frequency response и Approximate MIGO frequency response. Сохраните результаты моделирования.

7.7. Произведите автоматическую настройку ПИД-регулятора по методу робастной реакции. С этой целью выберите на вкладке Tuning method алгоритм Robust response time, и тип регулятора – PID. Установите галочку в окошке Design with first order derivative filter. Выберите режим настройки Design mode – Automatic(balanced performance and robustness). Щёлкните по кнопке Update Compensator. Сохраните результаты моделирования.

7.8. Осуществите интерактивную настройку ПИД-регулятора, выбрав режим настройки Design mode – Interactive (adjustable performance and robustness). Изменяя полосу пропускания (Bandwidth) и запасы по фазе (Phase margin) с помощью соответствующих ползунков, и щёлкая по кнопке Update Compensator, наблюдайте за переходной характеристикой замкнутой системы. Попытайтесь объяснить полученные результаты.

8. Выполнить автоматическую настройку ПИД-регулятора в пакете Simulink.

8.1. Соберите схему моделирования, представленную на рис. 1.1. Введите в блок Transfer Fcn передаточную функцию объекта управления. Установите в блоке PID Controller следующие численные значения параметров регулятора: P=1, I=D=0. Остальные настройки оставьте по умолчанию.

8.2. Щёлкните сначала по кнопке Apply, затем по кнопке Tune. В результате появляется окно PID Tuner, в котором по умолчанию отображаются переходные характеристики замкнутой системы для исходного и настроенного ПИД-регуляторов. В этом окне щёлкните по кнопке Show parameters, чтобы наблюдать результаты настройки. Сохраните результаты моделирования.

8.3. Осуществите интерактивную настройку ПИД-регулятора. Для этого перемещайте ползунок в поле Interactive tuning и добейтесь более быстрой реакции системы, чем полученная при выполнении п. 8.2. Сохраните результаты моделирования.

Тема «Классические методы синтеза линейных САУ»

1. Передаточная функция объекта управления имеет следующий вид:

$$W_1(s) = \frac{K}{s(0{,}25s + 1)}.$$

Требования к системе управления:

- Перерегулирование $\sigma_{зад} \le 20\ \%$:
- Для линейного входного сигнала $x(t) = Vt$, установившаяся ошибка должна быть равна N % от величины скорости этого сигнала, где N – номер варианта.

Осуществить коррекцию системы при помощи регулятора с *опережением по фазе* с помощью средства Sisotool Matlab.

1.1. Определить коэффициент усиления разомкнутой системы исходя из заданной установившейся ошибки воспроизведения линейного входного сигнала.

$$\varepsilon_{уст} = \frac{V}{K},\ K = \frac{V}{\varepsilon_{уст}} = \frac{V}{0{,}0N * V} = \frac{1}{0{,}0N}.$$

1.2. Ввести модель объекта управления с требуемым коэффициентом усиления K в соответствующий блок средства Sisotool (использовать структуру с двумя степенями свободы). Оставить в окне SISO Design for SISO Design Task только окно для построения ЛЧХ разомкнутой системы. На графиках ЛЧХ показать сетку. Определить запас по фазе для нескорректированной системы $\gamma_н$. Увеличить верхнюю границу отображаемых частот на графиках ЛЧХ до 10^3 рад /с.

1.3. С помощью просмотрщика LTI Viewer for SISO Design Task отобразить переходную характеристику замкнутой системы. Определить *перерегулирование* $\sigma_н\ \%$ и *время регулирования* $t_{рн}$. Сравнить найденное значение $\sigma_н\ \%$ с $\sigma_{зад}\ \%$.

1.4. Определить дополнительный фазовый сдвиг φ_m. Для этого необходимо определить требуемый запас по фазе для *скорректированной* системы γ_c, используя связь между перерегулированием и запасом по фазе:

$$\sigma_{зад}\% \approx 70 - \gamma_c,\ 30^0 < \gamma < 70^0.$$

Вычислить дополнительный фазовый сдвиг, вносимый корректирующим устройством

$$\varphi_m = \gamma_c - \gamma_н.$$

После введения коррекции частота, при которой ЛАЧХ скорректированной смстемы пересечёт уровень 0 дБ, будет больше, чем в исходной системе. Соответственно, будет больше и отставание по фазе в нескорректированной системе. Поэтому необходимо увеличить величину φ_m на $10 \div 20\%$.

1.5. Вычислить параметр α:

$$\frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} = \sin \varphi_m.$$

Примечание. При вычислении функции sin в MATLAB необходимо аргумент функции представлять в радианах.

1.6. Вычислить величину $10\lg\alpha$ и найти частоту ω_m, при которой ЛАЧХ нескорректированной системы имеет значение $-10\lg\alpha$, дБ. Поскольку по графикам в окне SISO Design for SISO Design Task не удаётся точно определить координаты точки на ЛАЧХ, целесообразно построить ЛАЧХ разомкнутой системы в просмотрщике LTI Viewer for SISO Design Task.

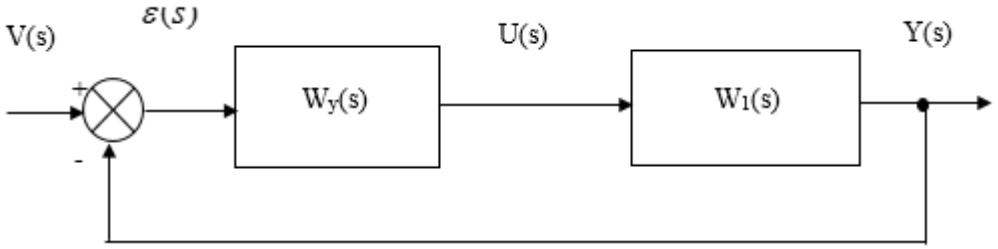
1.7. Вычислить значения полюса $p = \omega_m \sqrt{\alpha}$ и нуля $z = p/\alpha$. Ввести численные значения p и z (со знаком минус) в регулятор на вкладке Compensator Editor в окне Control and Estimation Tools Manager.

1.8. Определить полученное значение запаса по фазе в скорректированной системе. По переходной характеристике замкнутой системы определить перерегулирование σ_c % и время регулирования t_{pc}. Сравнить σ_c % с $\sigma_{зад}$ %, и t_{pc} с $t_{рн}$. Если величина перерегулирования в скорректированной системе $\sigma > \sigma_{зад}$, то необходимо немного увеличить ширину среднечастотного участка ЛАЧХ, переместив по ЛАЧХ соответствующие нуль и полюс с помощью мыши.

1.9. С помощью команды Draw Simulink Diagram меню Tools окна SISO Design for SISO Design Task получить модель исследуемой системы в пакете Simulink. Подключить на вход модели вместо используемого генератора сигналов генератор линейного сигнала Ramp, определить установившуюся ошибку $\varepsilon_{уст}$, и сравнить её с заданным значением.

1.10. По полученной передаточной функции регулятора, рассчитать номиналы элементов пассивной электрической RC-цепи, обеспечивающей опережение по фазе. Ёмкость конденсатора С выбрать в диапазоне $1 \div 10$ мкФ.

2. Требуется спроектировать последовательное корректирующее устройство с передаточной функцией $W_y(s)$ для следующей системы управления.



№	Передаточная функция ОУ	Требования к системе
1	$W_1(s) = \frac{5}{s(0{,}1s+1)(s+1)}$	$v(t) = a_1 t; \quad \varepsilon_{уст} = 0{,}05a_1; \quad \varepsilon_{уст} = \frac{a_1}{k} \Rightarrow k = k_y k_1; \quad \sigma \le 25\ \%.$
2	$W_1(s) = \frac{20}{(0{,}1s+1)(s+1)}$	$v(t) = a_0 1(t); \quad \varepsilon_{уст} = 0{,}02a_0; \quad \varepsilon_{уст} = \frac{a_0}{1+k} \Rightarrow k = k_y k_1; \quad \sigma \le 20\ \%.$
3	$W_1(s) = \frac{2}{s(0{,}2s+1)(s+1)}$	$v(t) = a_1 t; \quad \varepsilon_{уст} = 0{,}04a_1; \quad \varepsilon_{уст} = \frac{a_1}{k} \Rightarrow k = k_y k_1; \quad \sigma \le 25\ \%.$
4	$W_1(s) = \frac{50}{(0{,}1s+1)(2s+1)}$	$v(t) = a_0 1(t); \quad \varepsilon_{уст} = 0{,}01a_0; \quad \varepsilon_{уст} = \frac{a_0}{1+k} \Rightarrow k = k_y k_1; \quad \sigma \le 20\ \%.$

5	$W_1(s)=\dfrac{0{,}5}{s(0{,}1s+1)(4s+1)}$	$v(t)=a_1t;\quad \varepsilon_{уст}=0{,}03a_1;\quad \varepsilon_{уст}=\dfrac{a_1}{k}\Rightarrow k=k_yk_1;\quad \sigma\le 20\%.$
6	$W_1(s)=\dfrac{0{,}4}{s(0{,}2s+1)(5s+1)}$	$v(t)=a_1t;\quad \varepsilon_{уст}=0{,}02a_1;\quad \varepsilon_{уст}=\dfrac{a_1}{k}\Rightarrow k=k_yk_1;\quad \sigma\le 20\ \%.$

Здесь k - коэффициент усиления разомкнутой системы; k_y - коэффициент усиления регулятора; k_1 - коэффициент усиления объекта управления.

Осуществить коррекцию системы при помощи регулятора с *отставанием* по фазе.

Запустите систему **Matlab R2010b** и средство **Sisotool.** В открывшемся графическом окне SISO Design for SISO Design Task оставьте только окно для построения ЛЧХ разомкнутой системы. На графиках ЛЧХ покажите сетку.

2.1. Определите коэффициент усиления разомкнутой системы k и коэффициент усиления регулятора k_y, исходя из заданной установившейся ошибки воспроизведения входного сигнала $v(t)$.

2.2. Введите модель объекта управления $W_1(s)$ в блок **G** средства Sisotool (использовать структуру с двумя степенями свободы), а остальные параметры блоков структурной схемы оставьте их значениям по умолчанию. Определите запас по фазе для нескорректированной системы при $k_y=1$.

2.3 С помощью просмотрщика LTI Viewer for SISO Design Task отобразите переходную характеристику замкнутой системы. Определите *перерегулирование* $\sigma_н$ % и *время регулирования* $t_{рн}$. Сравните найденное значение $\sigma_н$ % с $\sigma_{зад}$ %.

2.4. Введите в блок C структурной схемы системы управления рассчитанное значение k_y. Как изменилась устойчивость замкнутой системы? Сохраните результаты моделирования.

2.5. Определите требуемый запас по фазе для *скорректированной* системы γ_c, используя связь между перерегулированием и запасом по фазе:

$$\sigma_{зад}\%\approx 70-\gamma_c,\ 30^0<\gamma<70^0.$$

С помощью Matlab определите частоту среза скорректированной системы $\omega_{с.ск}$, при которой

$$\arg k_yW_1(j\omega)=-180^0+\gamma_c+5^0.$$

Для более точного определения значения $\omega_{с.ск}$ целесообразно отобразить ЛЧХ разомкнутой системы в окне просмотрщика LTI Viewer for SISO Design Task, и, щёлкнув на графике фазовой характеристики, определить искомую частоту.

2.6. Вычислить значение нуля регулятора $\omega_0=0{,}1\,\omega_{с.ск}$.

2.7. Из выражения

$$\frac{\omega_p}{\omega_0} = \frac{1}{\left|k_y W_1(j\omega_{c.ск})\right|}$$

определить значение полюса регулятора

$$\omega_p = \frac{0{,}1\,\omega_{c.ск}}{\left|k_y W_1(j\omega_{c.ск})\right|}.$$

Примечание. Численное значение $\left|k_y W_1(j\omega_{c.ск})\right|$ можно определить по графику ЛАЧХ в окне просмотрщика LTI Viewer for SISO Design Task, предварительно отобразив эту характеристику в абсолютных значениях $R(\omega)$.

2.8. Введите значения ω_0 и ω_p в блок **C** средства Sisotool. В результате передаточная функция регулятора принимает вид

$$W_y(s) = \frac{k_y(1 + s/\omega_0)}{1 + s/\omega_p}.$$

2.9. Определите полученное значение запаса по фазе в скорректированной системе. По переходной характеристике замкнутой системы определите перерегулирование σ_c % и время регулирования t_{pc}. Сравните σ_c % с $\sigma_{зад}$ %, и t_{pc} с $t_{рн}$. Если величина перерегулирования в скорректированной системе $\sigma > \sigma_{зад}$, то необходимо немного переместить с помощью мыши нуль и полюс регулятора.

2.10. Определите установившуюся ошибку $\varepsilon_{уст}$, и сравните полученное значение с заданным:

а) если объект управления *не содержит* интеграторы, то используйте переходную характеристику замкнутой системы. Отобразите на переходной характеристике маркер, показывающий установившееся значение ПХ (Steady State). Затем определите установившееся значение ПХ (Final value) и установившуюся ошибку;

б) если объект управления *содержит* интеграторы, то с помощью команды Draw Simulink Diagram меню Tools окна SISO Design for SISO Design Task получите модель исследуемой системы в пакете Simulink. Подключите на вход модели, вместо используемого генератора сигналов, генератор линейного сигнала Ramp, и определите установившуюся ошибку $\varepsilon_{уст}$.

2.11. По полученной передаточной функции регулятора, рассчитайте номиналы элементов пассивной электрической RC-цепи, обеспечивающей отставание по фазе. Ёмкость конденсатора C выберите в диапазоне $1 \div 10$ мкФ.

Тема «Синтез систем с обратной связью по состоянию»

Передаточная функция объекта управления

а) $W_1(s) = \dfrac{0{,}5}{s(0{,}25s^2 + 0{,}3s + 1)}$; б) $W_1(s) = \dfrac{5}{s(2s\ \ +1)(s+1)}$.

Численные значения показателей качества системы $\sigma,\%$ и t_p, а также вид стандартного полинома, выбираемого в качестве желаемого, приведены в таблице.

№ варианта	$\sigma,\ \ \%$	$t_p,\ \ c$	$Д_{cm}(s)$
1	0	3	$Д_{1cm}(s)$
2	9	2,5	$Д_{2cm}(s)$
3	2	4	$Д_{3cm}(s)$
4	0	2,35	$Д_{4cm}(s)$
5	0	4	$Д_{1cm}(s)$
6	7	5	$Д_{2cm}(s)$
7	1,8	2	$Д_{3cm}(s)$
8	0	3	$Д_{4cm}(s)$

$$Д_{1cm}(s) = (s+\omega_0)^3 = s^3\ \ + 3\omega_0 s^2 + 3\omega_0^2 s + \omega_0^3,$$

$$Д_{2cm}(s) = (s+\omega_0)(s^2 + \omega_0 s + \omega_0^2) = s^3 + 2\omega_0 s^2 + 2\omega_0^2 s + \omega_0^3,$$

$$Д_{3cm}(s) = s^3 + 1{,}9\omega_0 s^2 + 2{,}2\omega_0^2 s + \omega_0^3,$$

$$Д_{4cm}(s) = (s+\omega_0)(s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2) = s^3 + 2{,}5\omega_0 s^2 + 2{,}5\omega_0^2 s + \omega_0^3.$$

Варианты 1-4 выполняются с передаточной функцией а), варианты 5-8 – с передаточной функцией б).

1. Построить схему моделирования объекта управления в канонической форме управляемости, предварительно определив приведённый характеристический многочлен объекта. По полученной схеме записать уравнения объекта в переменных состояния.
2. Проверить, является ли объект управляемым.
3. Вычислить параметр ω_0 по заданному значению t_p и определить коэффициенты стандартного полинома.
4. Считая заданный стандартный полином желаемым, найти его корни $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3$.
5. Рассчитать коэффициенты ОС по состоянию $\beta_1, \beta_2, \beta_3$.

6. Проверить, является ли объект наблюдаемым.

7. Рассчитать коэффициенты $d_i, \quad i=\overline{1,3}$ характеристического многочлена наблюдателя

$$Д_н(s)=\prod_{i=1}^{3}(s-s_i^н)=s^3+d_1s^2+d_2s+d_3$$

для двух вариантов вещественных корней этого многочлена:

а) $\mathrm{Re}(s_i^н)=2\,\mathrm{Re}(\bar{s}_i), \quad \mathrm{Im}(s_i^н)=\mathrm{Im}(\bar{s}_i), \quad i=\overline{1,3}$,

б) $\mathrm{Re}(s_i^н)=6\,\mathrm{Re}(\bar{s}_i), \quad \mathrm{Im}(s_i^н)=\mathrm{Im}(\bar{s}_i), \quad i=\overline{1,3}$.

8. Рассчитать вектор коэффициентов наблюдателя состояния $\hat{\beta}=[\hat{\beta}_1\ \hat{\beta}_2\ \hat{\beta}_3]^T$ из равенства желаемого характеристического полинома наблюдателя (2.19) и проектируемого наблюдателя $\overline{Д}_н(s)=\det[sE-A+\hat{\beta}C]$ для двух вариантов, определённых в п. 7.

Типовые задания для самостоятельной работы

1. История автоматического управления.
2. Перспективы развития систем управления.
3. Линеаризация физических систем.
4. Передаточные функции линейных систем.
5. Чувствительность систем управления к изменению параметров.
6. Возмущения в системах управления с обратной связью.
7. Определение характеристик систем управления с помощью MATLAB.
8. Структурные схемы.
9. Модели в виде сигнальных графов.
10. Установившаяся ошибка систем управления с обратной связью.
11. Качество системы второго порядка.
12. Связь между переходной характеристикой и положением корней на s-плоскости.
13. Относительная устойчивость систем управления с обратной связью.
14. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица.
15. Критерий Найквиста.
16. Устойчивость систем управления с запаздыванием.
17. Критерии качества во временной и частотной областях.
18. Частотные характеристики ПИД-регуляторов.
19. Аналитический метод синтеза ПИД-регулятора.

20. Реализация ПИД-регулятора.
21. Основы метода корневого годографа.
22. Построение корневого годографа.
23. Выбор параметров с помощью корневого годографа.
24. Чувствительность системы и корневой годограф.
25. Метод логарифмических частотных характеристик. Схемы последовательной коррекции.
26. Коррекция с опережением по фазе.
27. Синтез систем с применением интегрирующих устройств.
28. Системы с предварительным фильтром.
29. Синтез систем с апериодической реакцией.
30. Управляемость и наблюдаемость.
31. Синтез путём размещения полюсов.
32. Формула Аккермана.
33. Наблюдатели пониженного порядка.
34. Системы при наличии входных воздействий.

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

СОГЛАСОВАНО **ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ,** Бабаян Павел Вартанович, Заведующий кафедрой АИТУ **28.08.26** 11:31 (MSK) Простая подпись