

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана факультета энергетики
и систем управления

/А.В. Бурковский/



_____ 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Основы автоматического управления»**

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электромеханика

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы
Заведующий кафедрой
Электропривода, автоматики
и управления в технических
системах

О.А. Киселёва

В.Л. Бурковский

Руководитель ОПОП

А.В. Тикунов

Воронеж 2023

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины формирование у студентов теоретической базы по современным методам исследования систем управления, которая позволит им успешно решать теоретические и практические задачи в их профессиональной деятельности, связанной с получением математического описания, моделированием, анализом, проектированием, испытаниями и эксплуатацией современных систем управления.

1.2. Задачи освоения дисциплины классифицировать объекты и системы управления и описывать происходящие в них динамические процессы;
анализировать структуру и математическое описание систем управления с целью определения областей их устойчивой и качественной работы;
проводить синтез систем и исследование их свойств.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Основы автоматического управления» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы автоматического управления» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен выполнять научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы с использованием современных методов сбора и анализа данных и современных программно-аппаратных комплексов

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	Знать принцип действия современных систем управления
	Уметь использовать полученную в результате обучения теоретическую и практическую базу для получения математического описания объектов и систем в виде дифференциальных уравнений, структурных схем; построения их характеристик
	Владеть навыками использования полученных знаний при решении практических задач с использованием современных методов сбора и анализа данных и современных программно-аппаратных комплексов

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Основы автоматического управления» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	108 3	108 3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего , час
1	Основные понятия и определения теории автоматического управления	Понятие системы автоматического управления (САУ). Характеристика объектов управления и сигналов. Основные понятия и принципы построения САУ. Фундаментальные принципы управления: разомкнутое управление, управление по возмущению, по	4	2	4	8	18

		отклонению, комбинированное управление. Структурные схемы и особенности формирования управления в САУ различных принципов. Классификация САУ по принципам и видам управления, типу сигналов и характеристикам параметров системы. Установившиеся и переходные процессы в системах автоматического управления. Уравнения статики и динамики САУ.					
2	Математическое описание систем автоматического управления	Понятие и принципы математического моделирования. Математическое описание линейных непрерывных САУ с помощью дифференциальных уравнений. Применение операторного метода для решения уравнений системы. Преобразование Лапласа. Понятие о передаточной функции. Связь передаточной функции с весовой и переходной характеристиками. Нули и полюса передаточной функции. Характеристический полином и характеристическое уравнение системы. Нули и полюсы передаточной функции САУ. Понятие динамического звена. Типовые динамические звенья и их характеристики. Временные, операторные и частотные характеристики позиционных, интегрирующих и дифференцирующих динамических звеньев. Передаточные функции замкнутых систем по управляющему воздействию, возмущающему воздействию, передаточная функция САУ по ошибке. Временные, операторные и частотные характеристики различных типов САУ.	4	2	4	8	18
3	Устойчивость линейных САУ	Понятие устойчивости по Ляпунову. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Критерий Гурвица. Типы границы устойчивости САУ. Определение границ колебательной и апериодической устойчивости. Частотные критерии оценки устойчивости САУ. Частотный критерий устойчивости А.В. Михайлова. Определение устойчивости и границ колебательной устойчивости. Определение уравнения кривой Михайлова и частоты колебаний на границе устойчивости.	4	2	4	8	18

		Частотный критерий оценки устойчивости Найквиста. Понятие запаса устойчивости. Определение запасов устойчивости по фазе и модулю по критерию устойчивости Найквиста.					
4	Качество процессов регулирования САУ	Понятие качества в линейных САУ. Оценка качества в установившихся переходных процессах. Статические и астатические системы автоматического управления. Передаточная функция по ошибке. Методы расчета и оценки качества процесса регулирования в САУ.	2	4	2	10	18
5	Качество процессов регулирования САУ при гармоническом воздействии	Оценка качества при гармоническом воздействии. Ошибка по амплитуде и частоте. Полоса пропускания, частота среза, запасы устойчивости по фазе и амплитуде. Динамические и статические ошибки в системах автоматического управления.	2	4	2	10	18
6	Инвариантные, нелинейные, дискретные и оптимальные САУ	Инвариантные САУ, основные принципы их структурного построения. Комбинированное управление. Методы создания САУ, инвариантных по возмущающим воздействиям. Дискретные САУ и их классификация (импульсные, релейные, комбинированные САУ). Особенности процессов в дискретных системах. Системы оптимального управления. Понятие об адаптивных САУ.	2	4	2	10	18
Итого			18	18	18	54	108

5.2 Перечень лабораторных работ

Укажите перечень лабораторных работ

1. Преобразование структурных схем систем автоматического управления
2. Частотный и временной анализ типовых динамических звеньев САУ
3. Исследование влияния обратной связи на динамические свойства звеньев и систем автоматического управления
4. Исследование устойчивости систем автоматического управления с обратной связью при изменении параметров звеньев

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной

работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	Знать принцип действия современных систем управления	Активная работа на учебных занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать полученную в результате обучения теоретическую и практическую базу для получения математического описания объектов и систем в виде дифференциальных уравнений, структурных схем; построения их характеристик	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками использования полученных знаний при решении практических задач с использованием современных методов сбора и анализа данных и современных программно-аппаратных комплексов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	Знать принцип действия современных систем управления	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%

	Уметь использовать полученную в результате обучения теоретическую и практическую базу для получения математического описания объектов и систем в виде дифференциальных уравнений, структурных схем; построения их характеристик	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками использования полученных знаний при решении практических задач с использованием современных методов сбора и анализа данных и современных программно-аппаратных комплексов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Характеристическое уравнение системы это:

1	числитель передаточной функции, приравненный к нулю
2	знаменатель передаточной функции, приравненный к нулю
3	уравнение, которое описывает частное вынужденное движение системы
4	уравнение, которое описывает систему в общем виде

2. Переходная характеристика это:

1	реакция системы на гармоническое входное воздействие
2	реакция системы на единичное ступенчатое воздействие
3	реакция системы на импульсное воздействие
4	реакция системы на входное воздействие, изменяющееся по линейному закону

3. Весовая функция, это:

1	реакция системы на гармоническое входное воздействие
2	реакция системы на единичное ступенчатое воздействие
3	реакция системы на импульсное воздействие
4	реакция системы на входное воздействие, изменяющееся по линейному закону

4. Корни характеристического полинома для устойчивой САУ расположены:

1	в левой части комплексной плоскости
2	на мнимой оси комплексной плоскости
3	в правой части комплексной плоскости
4	в 1-ой и 2-ой четвертях комплексной плоскости

5. В следящей системе закон изменения регулируемой величины:

1	неизвестен
2	задан заранее
3	Синусоидальный с постоянной частотой и амплитудой

4	Возрастающий по линейному закону
---	----------------------------------

6. В системе программного управления изменения регулируемой величины:

1	неизвестен
2	задан заранее
3	Синусоидальный с постоянной частотой и амплитудой
4	Возрастающий по линейному закону

7. Устойчивая система окажется на границе устойчивости, если корни характеристического уравнения будут расположены

1	в левой части комплексной плоскости
2	на мнимой оси комплексной плоскости
3	в правой части комплексной плоскости
4	в 1-ой и 2-ой четвертях комплексной плоскости

8. Запас устойчивости по фазе - это величина, которая показывает:

1	насколько нужно увеличить фазу, чтобы устойчивая система оказалась на границе устойчивости (при постоянстве других параметров).
2	насколько нужно уменьшить фазу, чтобы устойчивая система оказалась на границе устойчивости (при постоянстве других параметров).
3	насколько сместилась фазовая характеристика
4	график зависимости фазы от частоты

9. Как определяются логарифмические частотные характеристики при последовательном соединении динамических звеньев?

1	Умножением одной характеристики на другую на одинаковых частотах
2	Делением одной характеристики на другую на одинаковых частотах
3	Сложением одной характеристики с другой на одинаковых частотах
4	Вычитанием одной характеристики из другой на одинаковых частотах

10 Передаточная функция, какого звена описывает позиционное звено?

1	$W_p(p) = \frac{31}{5p}$
2	$W_p(p) = \frac{10}{5p + 1}$
3	$W_p(p) = \frac{5p}{8}$
4	$W_p(p) = \frac{17}{(5p + 1)p}$

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач
(минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

1. Чему равна передаточная функция двух звеньев, соединенных последовательно?

1	$W_0(p) = W_1(p) \cdot W_2(p)$
2	$W_0 = \frac{W_1}{1 + W_{oc} \cdot W_1}$
3	$W_0(p) = W_1(p) + W_2(p)$
4	$W_0 = \frac{W_1}{W_2}$

2. Чему равна передаточная функция двух звеньев, соединенных параллельно?

1	$W_0(p) = W_1(p) \cdot W_2(p)$
2	$W_0 = \frac{W_1}{1 + W_{oc} \cdot W_1}$
3	$W_0(p) = W_1(p) + W_2(p)$
4	$W_0 = \frac{W_1}{W_2}$

3. Чему равна передаточная функция двух звеньев, соединенных встречно-параллельно?

1	$W_0(p) = W_1(p) \cdot W_2(p)$
2	$W_0 = \frac{W_1}{1 + W_{oc} \cdot W_1}$
3	$W_0(p) = W_1(p) + W_2(p)$
4	$W_0 = \frac{W_1}{W_2}$

4. Как изменится постоянная времени динамического звена $W_p(p) = \frac{10}{p+2}$ если его охватить отрицательной обратной связью

1	Не изменится
2	Уменьшится
3	Увеличится
4	Будет равно нулю

5. Чему будет приблизительно равно время переходного процесса при параллельном включении двух звеньев с передаточными функциями

$$W_p(p) = \frac{1}{5p+1}; W_p(p) = \frac{5}{p+1}$$

1	15
2	18
3	3
4	6

6. Фазовая характеристика системы имеет вид

$$\varphi_1(\omega) = -\arctg \omega - \arctg \frac{7\omega}{6}$$

Может ли иметь запас по фазе эта систем при частоте среза

$$\omega_{\text{среза}} = 20\text{с}^{-1}.$$

1	Не может иметь запас по фазе
2	Может
3	Находится практически на границе
4	Около 5^0

7 Амплитудная частотная характеристика имеет вид

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{400^2 + (\omega \cdot 0,1 \cdot 10^{-3})^2}}{\sqrt{(800 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^2)^2 + (0,1\omega)^2}}$$

На какой частоте характеристика будет иметь максимальное значение?

1	0
2	Характеристика монотонная
3	$20 \cdot 10^3 \text{с}^{-1}$
4	$40 \cdot 10^6 \text{с}^{-1}$

8. Дано дифференциальное уравнение динамического звена с постоянными параметрами:

$$10 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 15 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t) = 4g(t)$$

Записать уравнение в операторной форме.

1	$x(p)(40p^4 + 16p^2 + 30p + 1) = g(p)(15p^2 + 4p)$
2	$x(p)(10p^3 + 15p + 10) = 4g(p)$
3	$x(p)(10p^4 + 9p^3 + 15p^2 + 30p + 1) = g(p)(10p^2 + 4p)$
4	$x(p)(10p^3 + 15p^2 + 30p + 1) = g(p)4p^2$

9. Дано уравнение замкнутой системы операторной форме записи

$$x(p)(p^4 + 2p^3 + 4p^2 + 6p + 1) = g(p)(5p^2 + 7p)$$

Записать передаточную функцию замкнутой системы W_0

1	$W_0 = \frac{5p^2 + 7p}{p^4 + 4p^2 + 6p + 1}$
2	$W_0 = \frac{5p^2 + 7p}{p^4 + 2p^3 + 4p^2 + 6p + 1}$

3	$W_0 = \frac{p^4 + 2p^3 + 4p^2 + 6p + 1}{5p^2 + 7p}$
4	$W_0 = \frac{5p^2}{p^4 + 2p^3 + 4p^2 + 6p + 1}$

10. Дано дифференциальное уравнение динамического звена

$$20 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t) = 40g(t)$$

Определить постоянную времени динамического звена

1	2 с
2	4 с
3	0,5 с
4	0,25 с

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задача 1. Определить устойчивость системы автоматического управления по критерию Гурвица, характеристическое уравнение которого задано уравнением (значения коэффициентов приведены в таблице 1)

$$D(p) = a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3$$

Решение.

Определим устойчивость замкнутой системы управления по критерию Гурвица, если задано характеристическое уравнение (знаменатель передаточной функции замкнутой системы).

$$W_3(p) = \frac{12 + p}{4p^3 + 6p^2 + 10p + 5}$$

Пусть $n=3$, тогда имеем

$$D(p) = a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3$$

$$D(p) = 4p^3 + 6p^2 + 10p + 5$$

В этом случае условием устойчивости будут соотношения:

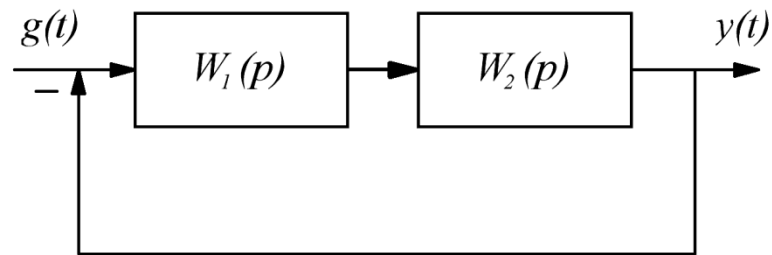
$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0;$$

$$\begin{vmatrix} 6 & 5 & 0 \\ 4 & 10 & 0 \\ 0 & 6 & 5 \end{vmatrix} = 5 \begin{vmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 10 \end{vmatrix} > 0$$

Система устойчивая.

Задача 2. Используя критерий Гурвица, определить область устойчивости при

изменении координат T и K (варианты передаточных функций приведены в таблице 2)



Решение. Определим передаточную функцию замкнутой системы

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)}$$

Если

$$W_1(p) = \frac{K}{p}; W_2(p) = \frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)},$$

Тогда

$$W_p(p) = \frac{6K}{(5p^2 + Tp + 1)p},$$

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{6K}{(5p^2 + Tp + 1)p + 6K}$$

$$W_3(p) = \frac{6K}{(5p^3 + Tp^2 + p + 6K)}$$

Характеристическое уравнение имеет вид

$$D(p) = 5p^3 + Tp^2 + p + 6K$$

Границу устойчивости определим по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = 0;$$

$$\begin{vmatrix} T & 6K & 0 \\ 5 & 1 & 0 \\ 0 & T & 6K \end{vmatrix} = 0; \begin{vmatrix} T & 6K \\ 5 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

Граница области устойчивости: $T - 30K = 0$ или $T = 30K$.

При $T > 30K$ система устойчивая.

Задача 3. Определить запас по фазе, если задана частота среза и уравнение фазовой характеристики (варианты частот среза $\omega_{\text{среза}}$ и переменных A , B и C приведены в таблице 3)

$$\varphi_a(\omega) = -\arctg A\omega - \arctg \frac{0,1\omega}{B - C \cdot \omega^2}$$

Решение. Запас по фазе определяется по формуле

$$\begin{aligned}\varphi_3 &= 2\pi + \varphi_a(\omega_{\text{среза}}) \\ \varphi_a(\omega) &= -\arctg 0,5\omega - \arctg \frac{0,1\omega}{100 - 0,2 \cdot \omega^2} \\ \omega_{\text{среза}} &= 10\text{с}^{-1}. \\ \varphi_a(\omega_{\text{среза}}) &= -146,69^\circ\end{aligned}$$

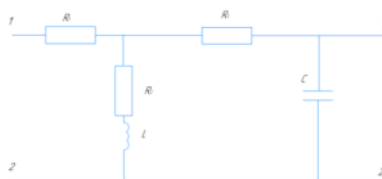
$$\varphi_3 = 2\pi - 146,69^\circ = 33,31^\circ$$

Задача 4. Рассчитать передаточную функцию динамического звена в режиме холостого хода (схемы приведены на рисунке *, параметры схем - в таблице 4)

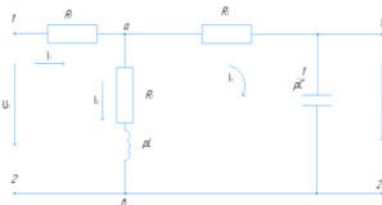
Динамические звенья содержат индуктивность или емкость.

В качестве примера рассмотрим звено, которое содержит как индуктивность, так и емкость.

$$R_1 = 2000\Omega; R_2 = 4000\Omega; R_3 = 6000\Omega; L = 0,1\text{мГн}; C = 0,25\text{мкФ}$$



Составим операторную схему замещения



Передаточная функция будет равна:

$$W(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)}$$

$$\text{Напряжение } U_2(p) = \frac{1}{pC} \cdot I_3(p)$$

По закону Ома:

$$I_3(p) = U_2(p) \cdot pC$$

Напряжение между точками а и в будет равно:

$$U_{ab}(p) = \left(R \parallel \left| 3 + \frac{1}{pC} \right| \right) I_3(p)$$

$$U_{ab}(p) = U_2(p) \cdot (pR_3C + 1)$$

Ток I_2 :

$$I_2(p) = \frac{U_{ab}(p)}{R_2 + pL}$$

$$I_2(p) = \frac{U_2(p)(pR_3C + 1)}{(R_2 + pL)}$$

$$I_1(p) = I_2(p) + I_3(p)$$

уравнение принимает вид:

$$I_1(p) = \frac{U_2(p)(pR_3C + 1)}{(R_2 + pL)} + U_2(p) \cdot pC,$$

$$I_1(p) = \frac{U_2(p)(pCR_3 + 1 + pCR_2 + p^2LC)}{R_2 + pL}$$

$$\frac{U_2(p)(p^2LC + pC(R_3 + R_2) + 1)}{R_2 + pL}$$

Напряжение $U_1(p)$ будет равно:

$$U_1(p) = R_1 I_1(p) + U_{ab}(p)$$

$$U_1(p) = \frac{U_2(p)(p^2LCR_1 + pCR_1(R_3 + R_2) + R_1)}{(R_2 + pL)} + U_2(p)(pCR_3 + 1)$$

$$U_1(p) = \frac{U_2(p)(p^2LCR_1 + pCR_1(R_3 + R_2) + R_1 + (pCR_3 + 1)(R_2 + pL))}{(R_2 + pL)}$$

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)}$$

.1

$$= \frac{W(p)}{(R_2 + pL)}$$

$$= \frac{1}{p^2LCR_1 + pCR_1(R_2 + R_3) + R_1 + pCR_3R_2 + p^2LCR_3 + p_2 + R_2}$$

$$W(p) = \frac{(R_2 + pL)}{p^2 LC}$$

Подставим значения и получим знаменатель, который является характеристическим уравнением:

$$D(p) = ap^2 + bp + c, \text{ где}$$

$$a = LC(R_1 + R_3) = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} \cdot 800$$

$$b = CR_1(R_2 + R_3) + CR_3R_2 + L = C(R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3) +$$

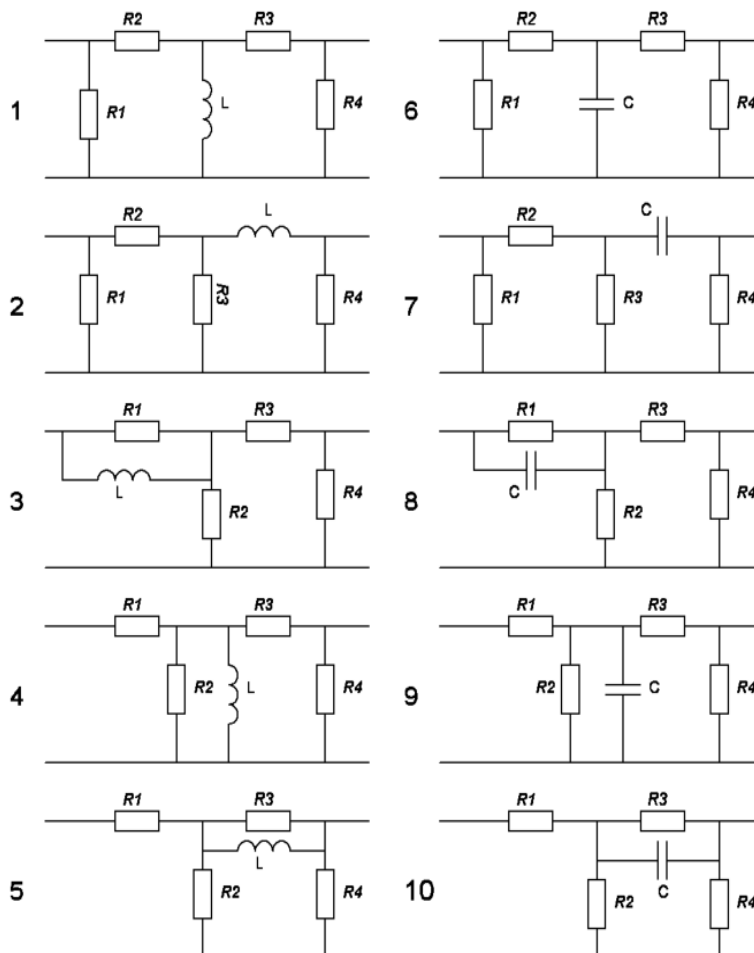
$$b = 0,25 \cdot 10^{-6}(200 \cdot 400 + 200 \cdot 600 + 400 \cdot 600) = 11,01 \cdot 10^{-2} = 0,1101$$

$$c = R_1 + R_2 = 200 + 400 = 600$$

Передаточная функция:

$$W(p) = \frac{400 + p \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-8}p^2 + 0,1101p + 600}$$

Схемы для расчета



Задача 5. Вывести формулу передаточной функции по заданному дифференциальному уравнению, где $g(t)$ – входной сигнал, а $x(t)$ – выходной сигнал. (Варианты задания приведены в таблице 11).

Решение. Дифференциальное уравнение

$$40 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 9 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 16 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 30 \frac{d}{dt} x(t) + x(t) = 35 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 7 \frac{d}{dt} g(t)$$

По заданному дифференциальному уравнению запишем операторное уравнение

$$x(p)(40p^4 + 9p^3 + 16p^2 + 30p + 1) = g(p)(35p^2 + 7p)$$

$$\text{Передаточная функция } W(p) = \frac{x(p)}{g(p)}$$

$$W(p) = \frac{35p^2 + 7p}{40p^4 + 9p^3 + 16p^2 + 30p + 1}$$

Задача 6. По передаточной функции разомкнутой системы записать передаточную функцию по ошибке (Значение передаточных функций приведены в таблице 6)

$$W_p(p) = \frac{3 + p \cdot 6}{(5p^2 + 2p + 1)p}$$

Решение. По передаточной функции разомкнутой системы записать передаточную функцию по ошибке

$$W_p(p) = \frac{3 + p \cdot 6}{(5p^2 + 2p + 1)p}$$

Передаточная функция по ошибке

$$W_x(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)}$$

$$W_x(p) = \frac{(5p^2 + 2p + 1)p}{(5p^2 + 2p + 1)p + 3 + p \cdot 6}$$

$$W_x(p) = \frac{5p^3 + 2p^2 + p}{5p^3 + 2p^2 + 7p + 3}$$

Задача 7. По передаточной функции по ошибке определить коэффициенты C_0, C_1, C_2

$$W_x(p) = \frac{40p^3 + 12p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$$

Решение. Передаточная функция по ошибке

$$W_x(p) = \frac{40p^3 + 12p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$$

Поделим числитель на знаменатель, начиная с меньшей степени:

-	$p + 12p^2 + 40p^3$	-	$500 + 1000p + 600p^2 + 40p^3$
-	$p + 2p^2 + 1,2p^3 + 0,08p^4$	-	$\frac{p}{500} + \frac{10p^2}{500}$
-	$10p^2 + 38,8p^3 - 0,08p^4$	-	
-	$10p^2 + 20p^3 + 12p^4$	-	
-	$18,8p^3 - 12,08p^4$	-	

По условию нужно определить C_0, C_1, C_2 и представить $W_x(p)$ в виде:

$$W_x(p) = C_0 + C_1p + C_2p^2;$$

$C_0 = 0$, так как система астатическая;

$$C_1 = \frac{1}{500} = 0.002; C_2 = \frac{10}{500} = 0.02.$$

Задача 8. Рассчитать уравнения ошибки замкнутой системы управления, если на вход системы подается сигнал $g(t) = K_1t + K_2t^2$, известны коэффициенты ошибок C_0, C_1, C_2 . Определить минимальное и максимальное значения ошибки в заданном диапазоне от нуля до 10 секунд.

Решение. На вход системы подается сигнал $g(t) = K_1t + K_2t^2$

$$K_1 = 0,3c^{-1}; K_2 = 0,006c^{-2}.$$

Представим $W_x(p)$ в виде:

$$W_x(p) = C_0 + C_1p + C_2p^2;$$

$C_0 = 0$, так как система астатическая;

$$C_1 = 0.002c^{-1}; C_2 = 0.02c^{-2}.$$

Первая производная от входного сигнала:

$$g'(t) = K_1 + 2K_2 \cdot t,$$

Вторая производная от входного сигнала:

$$g''(t) = 2K_2.$$

Уравнение ошибки примет вид

$$x(t) = C_1 \cdot g'(t) + C_2 \cdot g''(t) = C_1 \cdot (K_1 + 2K_2 \cdot t) + C_2 \cdot 2K_2,$$

где

K_1 — коэффициент при линейном изменении задающего сигнала;

K_2 — коэффициент при изменении сигнала по закону t^2 ;

t_n — исследуемый временной диапазон.

Подставим K_1 и K_2 и получим:

$$x(t) = C_1 \cdot (K_1 + 2K_2 \cdot t) + C_2 \cdot 2K_2$$

$$x(t) = 0,002 \cdot (0,3 + 2 \cdot 0,006 \cdot t) + 0.02 \cdot 2 \cdot 0,006$$

$$x(t) \approx 10^{-3} \cdot (0,84 + 0,024t).$$

Минимальное значение ошибки

$$x(0) = 0,84 \cdot 10^{-3};$$

максимальное значение в заданном диапазоне от нуля до 10 секунд

$$x(10) = 1,08 \cdot 10^{-3}.$$

Задача 9. По передаточной функции разомкнутой системы записать передаточную функцию замкнутой системы и определить время переходного процесса при подаче на вход единичного управляющего воздействия (передаточные функции приведены в таблице 9)

$$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 5}{p^2 + 4p + 2}$$

Решение. Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 5}{p^2 + 4p + 2}$$

Передаточная функция замкнутой системы с единичной обратной связью

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)}$$

Подставим значения и получим

$$W_3(p) = \frac{10 + p \cdot 5}{p^2 + 9p + 12}$$

Время переходного процесса определяется по минимальному корню характеристического уравнения

$$D(p) = p^2 + 9p + 12$$

$$p_1 = -1,63c^{-1}$$

$$p_2 = -7,37c^{-1}$$

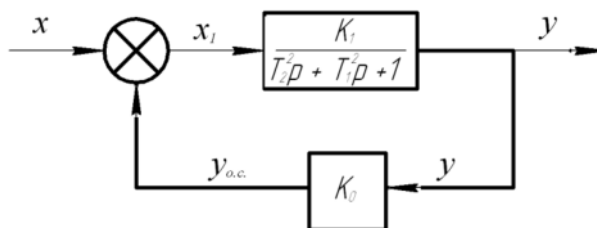
Время переходного процесса можно определить по формуле

$$t = \frac{3}{|p_{\min}|}$$

$$t = \frac{3}{|-1,63|} = 1,84c.$$

10. Как изменятся постоянные времени, коэффициент передачи, время переходного процесса звена второго порядка при охвате его жесткой отрицательной обратной связью с коэффициентом передачи K_0 ? (значения K_1 , K_0 , T_1 и T_2 приведены в таблице

10)



Решение. Найдем передаточную функцию замкнутой системы:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{раз}(p)}{1 + W_{раз}(p)W_{ос}(p)} = \frac{\frac{K_1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}}{1 + \frac{K_1 K_0}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}} = \frac{K_1}{T_2^2 p^2 + T_0 p + K_1 K_0 + 1} =$$

$$= \frac{K_1}{(1 + K_1 K_0) \left(\frac{T_2^2}{1 + K_1 K_0} p^2 + \frac{T_1}{1 + K_1 K_0} p + 1 \right)} = \frac{K_{зам}}{T_{2зам}^2 p^2 + T_{1зам} p + 1},$$

где

$$T_2^2 = \frac{T_2^2}{1 + K_0 K_1}, \quad T_{1зам} = \frac{T_1}{1 + K_1 K_0}, \quad K_{зам} = \frac{K_1}{1 + K_1 K_0}.$$

Отсюда видно, что обе постоянные времени уменьшаются, следовательно, уменьшается время переходного процесса. Коэффициент передачи уменьшается в $(1 + K_1 K_0)$ раз. Уменьшение постоянных времени может привести к изменению формы переходного процесса, например, она вместо апериодической может стать колебательной. Подставив значения из таблицы 10 можно определить вид полученного звена и его параметры.

Таблица 1

Номер варианта	a_0	a_1	a_2	a_3
1	2	5	4	3
2	1	4	5	10
3	6	15	12	9
4	4	6	10	5
5	2	8	10	20
6	8	12	20	10
7	5	15	10	12
8	12	18	30	10
9	6	7	15	9
10	4	10	8	6
11	5	9	10	7
12	10	25	20	15
13	6	15	12	9
14	3	11	10	8
15	8	12	11	10
16	12	30	24	18

17	16	26	20	15
18	14	22	18	16
19	11	19	21	13
20	24	60	48	36

Таблица 2

Номер варианта	$W_1(p)$	$W_2(p)$
1	$\frac{12}{(8p^2 + Tp + 1)}$	$\frac{K}{p + 3}$
2	$\frac{8}{(5p^2 + Tp + 1)p}$	$\frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)p}$
3	$\frac{6 + K}{(4p^2 + Tp + 1)}$	$\frac{4}{p}$
4	$\frac{K + 5}{p}$	$\frac{6}{(3p^2 + Tp + 1)}$
5	$\frac{6}{((5 + T)p^2 + Tp + 1)}$	$\frac{K}{p}$
6	$\frac{K}{p}$	$\frac{6}{(2p^2 + (T + 4)p + 1)}$
7	$\frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)p}$	$\frac{12}{(5p^2 + Tp + 1)}$
8	$\frac{K}{p + 1}$	$\frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)}$
9	$\frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)p}$	$\frac{10 + K}{(5p^2 + Tp + 1)}$
10	$\frac{K}{p + 5}$	$\frac{6}{(8p^2 + Tp + 1)}$
11	$\frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)p}$	$\frac{12 + K}{(5p^2 + Tp + 1)}$
12	$\frac{16}{(5p^2 + Tp + 1)p}$	$\frac{6}{(5p^2 + (T + 3)p + 1)}$
13	$\frac{9}{(4p^2 + Tp + 1)}$	$\frac{K}{p + 1}$
14	$\frac{K}{p + 4}$	$\frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)}$
15	$\frac{10}{(p^2 + Tp + 1)}$	$\frac{K}{p + 9}$
16	$\frac{K}{p + 7}$	$\frac{6}{(5p^2 + Tp + 1)}$
17	$\frac{16}{(15p^2 + Tp + 1)p}$	$\frac{4 + K}{(5p^2 + Tp + 1)}$

18	$\frac{K}{p+9}$	$\frac{16}{(15p^2 + Tp + 1)}$
19	$\frac{21}{(12p^2 + Tp + 1)p}$	$4+K$
20	$\frac{11}{(7p^2 + Tp + 1)}$	$\frac{K}{p+12}$

Таблица 3

Номер варианта	A	B	C	$\omega_{\text{среза}}$
1	0,2	100		8
2	0,1	90		9
3	0,3	80		10
4	0,1	70		11
5	0,4	75		12
6	0,1	80		13
7	0,5	85		14
8	0,1	90		15
9	0,4	95		14
10	0,1	100		13
11	0,3	105		12
12	0,1	100		11
13	0,2	95		10
14	0,1	90		9
15	0,3	85		8
16	0,1	80		9
17	0,5	75		10
18	0,1	70		11
19	0,6	65		12
20	0,1	60		14

Таблица 4

Номер вариант а	Номер схемы	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	L, мГн	C, мкФ
1	1	10	25	16	21	0,1	
2	2	15	27	19	25	0,2	
3	3	20	29	22	29	0,3	
4	4	25	31	25	33	0,4	
5	5	30	33	28	37	0,5	
6	6	35	35	31	41		0,1
7	7	40	37	34	45		0,3
8	8	45	39	37	49		0,3
9	9	50	41	40	54		0,4
10	10	55	43	43	59		0,5
11	1	60	45	46	64	0,6	
12	2	65	47	49	69	0,7	
13	3	70	49	52	74	0,8	

14	4	75	51	55	78	0,9	
15	5	80	53	58	83	1	
16	6	85	55	61	87		0,6
17	7	90	57	64	92		0,7
18	8	95	59	67	98		0,8
19	9	10	61	70	96		0,9
20	10	18	63	73	82		1

Таблица 5

Номер варианта	Исследуемое дифференциальное уравнение
1	$10 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 6 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 25 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 10x(t)$ $= 5 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + g(t)$
2	$20 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 7 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 10 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 10 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 5 \frac{d}{dt} g(t)$
3	$30 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 25 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 19 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 8 \frac{d}{dt} g(t) + g(t)$
4	$8 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 5 \frac{d^2}{dt^2} x(t) - 10 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 16 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + g(t)$
5	$40 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 9 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 16 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 30 \frac{d}{dt} x(t)$ $= 35 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 7 \frac{d}{dt} g(t)$
6	$50 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 10 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 14 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 10x(t)$ $= 45 \frac{d}{dt} g(t)$
7	$60 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 11 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 12 \frac{d^2}{dt^2} x(t) - 30 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 30g(t)$

8	$70 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 12 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 10 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 5 \frac{d}{dt} g(t) + 12g(t)$
9	$9 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 5 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 8 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 12 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 3 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 2g(t)$
10	$8 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 6 \frac{d^2}{dt^2} x(t) - 2 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 9 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 4 \frac{d}{dt} g(t)$
11	$11 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 7 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 4 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t) = 8 \frac{d}{dt} g(t)$
12	$15 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 8 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 15 \frac{d^2}{dt^2} x(t) - 6 \frac{d}{dt} x(t) = 23g(t)$
13	$25 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 9 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 25 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 10x(t)$ $= 45 \frac{d}{dt} g(t) + 9g(t)$
14	$45 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 11 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 8 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 2 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 4g(t)$
15	$35 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 19 \frac{d^2}{dt^2} x(t) - 10 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 7 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 5 \frac{d}{dt} g(t)$
16	$11 \frac{d^3}{dt^3} + 25 \frac{d^2}{dt^2} x(t) - 10 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 25 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 5 \frac{d}{dt} g(t)$
17	$3 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 2 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 6 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t)$ $= 4 \frac{d^2}{dt^2} g(t) + 3 \frac{d}{dt} g(t) + g(t)$

18	$300 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 100 \frac{d^3}{dt^3} x(t) + 150 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t) = 43g(t)$
19	$40 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 21 \frac{d^3}{dt^3} + 15 \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 10x(t) = 65 \frac{d}{dt} g(t)$
20	$30 \frac{d^4}{dt^4} x(t) + 11 \frac{d^3}{dt^3} + 25 \frac{d^2}{dt^2} x(t) - 10 \frac{d}{dt} x(t) + 10x(t) = 5 \frac{d}{dt} g(t) + g(t)$

Таблица 6

Номер варианта	$W_p(p)$
1	$W_p(p) = \frac{1 + p \cdot 6}{(3p^2 + 2p + 1)p}$
2	$W_p(p) = \frac{p^2 + p + 1}{(3p^2 + 2p + 1)p}$
3	$W_p(p) = \frac{1 + p \cdot 6}{(3p^2 + 2p + 1)p}$
4	$W_p(p) = \frac{10}{(7p^2 + 2p + 1)p}$
5	$W_p(p) = \frac{8(1 + p \cdot 2)}{(55p^2 + 17p + 1)p}$
6	$W_p(p) = \frac{p^2 + 2p + 1}{(3p^2 + 2p + 1)p}$
7	$W_p(p) = \frac{3(1 + p \cdot 2)}{(2p^2 + 11p + 1)p}$
8	$W_p(p) = \frac{1 + p \cdot 12}{(20p^2 + 2p + 1)p}$
9	$W_p(p) = \frac{20}{(12p^2 + 9p + 1)p}$
10	$W_p(p) = \frac{p^2 + p + 10}{(4p^2 + 2p + 1)p}$
11	$W_p(p) = \frac{4(1 + p \cdot 6)}{(5p^2 + 7p + 1)p}$
12	$W_p(p) = \frac{4 + p \cdot 6}{(3p^2 + 2p + 1)p}$
13	$W_p(p) = \frac{40}{(17p^2 + 2p + 1)p}$
14	$W_p(p) = \frac{p^2 + p + 2}{(6p^2 + 2p + 1)p}$
15	$W_p(p) = \frac{6 + p \cdot 6}{(9p^2 + 2p + 1)p}$
16	$W_p(p) = \frac{1 + p \cdot 5}{(3p^2 + 4p + 1)p}$

17	$W_p(p) = \frac{35}{(14p^2 + 8p + 1)p}$
18	$W_p(p) = \frac{p^2 + 3p + 1}{(3p^2 + 2p + 1)p}$
19	$W_p(p) = \frac{4p^2 + p + 1}{(8p^2 + 2p + 1)p}$
20	$W_p(p) = \frac{2 + p \cdot 6}{(3p^2 + 6p + 1)p}$

Таблица 7

Номер варианта	K_1, c^{-1}	K_2, c^{-2}	Передаточная функция по ошибке
1	0,3	0,006	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 12p^2 + 5p}{40p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
2	0,1	0,005	$W_x(p) = \frac{50p^3 + 12p^2 + 6p}{50p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
3	0,2	0,004	$W_x(p) = \frac{60p^3 + 12p^2 + 7p}{60p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
4	0,3	0,009	$W_x(p) = \frac{70p^3 + 12p^2 + 8p}{70p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
5	0,4	0,008	$W_x(p) = \frac{80p^3 + 12p^2 + 9p}{80p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
6	0,5	0,007	$W_x(p) = \frac{90p^3 + 22p^2 + p}{90p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
7	0,6	0,006	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 32p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
8	0,7	0,005	$W_x(p) = \frac{15p^3 + 42p^2 + p}{15p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
9	0,1	0,004	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 52p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
10	0,2	0,003	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 62p^2 + p}{40p^3 + 700p^2 + 1000p + 500}$
11	0,3	0,001	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 72p^2 + p}{40p^3 + 800p^2 + 1000p + 500}$
12	0,4	0,009	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 82p^2 + p}{40p^3 + 900p^2 + 1000p + 500}$
13	0,5	0,008	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 92p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
14	0,6	0,007	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 10p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 1000p + 500}$
15	0,3	0,006	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 14p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 100p + 500}$

16	0,7	0,005	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 16p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 300p + 500}$
17	0,8	0,004	$W_x(p) = \frac{25p^3 + 18p^2 + p}{25p^3 + 600p^2 + 700p + 500}$
18	0,9	0,003	$W_x(p) = \frac{40p^3 + 12p^2 + p}{40p^3 + 600p^2 + 900p + 500}$
19	0,7	0,002	$W_x(p) = \frac{55p^3 + 12p^2 + p}{55p^3 + 600p^2 + 1100p + 500}$
20	0,5	0,001	$W_x(p) = \frac{65p^3 + 41p^2 + p}{65p^3 + 600p^2 + 1500p + 500}$

Таблица 8

Номер варианта	K_1, c^{-1}	K_2, c^{-2}	t_n, c
1	1,21	0,055	5,6
2	1,26	0,047	4,8
3	2,31	0,032	3,5
4	1,39	0,033	2,8
5	1,59	0,012	3,8
6	2,14	0,144	4,1
7	1,67	0,024	2,4
8	2,88	0,015	2,8
9	2,41	0,025	3,1
10	1,45	0,038	3,4
11	2,15	0,045	2,2
12	2,36	0,095	2,1
13	2,25	0,052	2,4
14	2,28	0,021	1,9
15	2,97	0,033	2,4
16	1,26	0,045	3,6
17	1,39	0,098	4,4
18	2,27	0,067	2,3
19	3,63	0,034	3,2

20	3,29	0,066	4,8
----	------	-------	-----

Таблица 9

Номер варианта	Передаточная функция разомкнутой системы
1	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 5}{p^2 + 4p + 2}$
2	$W_p(p) = \frac{1 + p \cdot 5}{2p^2 + 4p + 2}$
3	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 7}{3p^2 + 4p + 2}$
4	$W_p(p) = \frac{12 + p \cdot 5}{4p^2 + 4p + 2}$

5	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 4}{5p^2 + 4p + 2}$
6	$W_p(p) = \frac{8 + p \cdot 5}{p^2 + 3p + 2}$
7	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 9}{p^2 + 3p + 2}$
8	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 5}{p^2 + 4p + 2}$
9	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 8}{8p^2 + 4p + 2}$
10	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 2}{p^2 + 11p + 2}$
11	$W_p(p) = \frac{7 + p \cdot 5}{12p^2 + 4p + 2}$
12	$W_p(p) = \frac{16 + p \cdot 5}{p^2 + 14p + 2}$
13	$W_p(p) = \frac{20 + p \cdot 5}{11p^2 + 4p + 2}$
14	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 9}{p^2 + 9p + 2}$
15	$W_p(p) = 4 \frac{10 + p \cdot 5}{p^2 + 4p + 2}$
16	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 15}{14p^2 + 4p + 2}$
17	$W_p(p) = \frac{10 + p \cdot 5}{p^2 + 4p + 2}$
18	$W_p(p) = \frac{40 + p \cdot 5}{p^2 + 16p + 2}$
19	$W_p(p) = \frac{30 + p \cdot 5}{17p^2 + 4p + 2}$
20	$W_p(p) = \frac{50 + p \cdot 5}{p^2 + 15p + 2}$

Таблица 10

Номер варианта	K ₁	K ₀	T ₁	T ₂
1	50	9	0,001	0,07
2	48	8	0,002	0,06
3	46	7	0,003	0,05
4	44	6	0,004	0,04
5	42	5	0,005	0,03
6	40	4	0,006	0,02
7	38	3	0,007	0,01

8	36	2	0,008	0,09
9	34	1	0,009	0,08
10	32	2	0,008	0,07
11	30	3	0,007	0,06
12	28	4	0,006	0,05
13	26	5	0,005	0,04
14	24	6	0,004	0,05
15	22	7	0,003	0,035
16	20	8	0,002	0,03
17	18	9	0,001	0,025
18	16	8	0,002	0,02
19	14	7	0,003	0,015
20	12	6	0,004	0,01

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Понятие системы автоматического управления, принципы построения САУ..
2. Фундаментальные принципы управления: разомкнутое управление, управление по возмущению, по отклонению, комбинированное управление.
3. Классификация САУ по принципам и видам управления, типу сигналов и характеристикам параметров системы.
4. Установившиеся и переходные процессы в САУ.
5. Типовые позиционные динамические звенья, их характеристики.
6. Типовые интегрирующие динамические звенья, их характеристики.
7. Типовые дифференцирующие динамические звенья, их характеристики.
8. Применение операторного метода для решения уравнений САУ.
9. Передаточные функции САУ. Нули и полюса передаточной функции.
10. Характеристический полином и характеристическое уравнение системы.
11. Передаточные функции замкнутых систем по управляющему воздействию.
12. Передаточные функции замкнутых систем по возмущающему воздействию.
13. Передаточная функция по ошибке. Коэффициенты ошибок.
14. Устойчивость линейных САУ. Алгебраические и частотные критерии устойчивости.
15. Критерий Гурвица. Определение границы колебательной и апериодической устойчивости.
16. Частотный критерий Найквиста. Определение запасов устойчивости.
17. Частотный критерий Михайлова. Определение устойчивости и границ колебательной устойчивости.
18. Запас по амплитуде и фазе в устойчивых системах.
19. Определение устойчивости по логарифмическим амплитудно-фазовым частотным характеристикам разомкнутой системы.
20. Ошибка в САУ по амплитуде и частоте. Полоса пропускания, частота среза, запасы устойчивости по фазе и амплитуде (модулю).
21. Статические и астатические системы автоматического управления.
22. Анализ качества в линейных САУ. Оценка качества в установившихся и переходных

процессах.

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 14 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится, если студент набрал от 15 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия и определения теории автоматического управления	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
2	Математическое описание систем автоматического управления	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
3	Устойчивость линейных САУ	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ,
4	Качество процессов регулирования САУ	ПК-1	Тест, контрольная работа защита лабораторных работ,
5	Качество процессов регулирования САУ при гармоническом воздействии	ПК-1	Тест, контрольная работа
6	Инвариантные, нелинейные, дискретные и оптимальные САУ	ПК-1	Тест

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется

проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Киселёва О.А. Основы автоматического управления; лабораторный практикум: методическое указание к выполнению лабораторных работ по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль Электромеханика / О.А. Киселёва — Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2024.

2. Киселёва О.А. Основы автоматического управления; практические и самостоятельные занятия: методическое указание к самостоятельной работе студентов по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль Электромеханика / О.А. Киселёва — Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2024

3. Авдеев Б.А. Теория автоматического управления (Часть 1) конспект лекций для курсантов специальности 26.05.07 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики и направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника очной и заочной форм обучения/КГМТУ.- Керчь.- 2022.- 117с.

4. Ковалёв Д.А., Шаряков В.А., Шарякова О.Л. Теория автоматического управления: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2020. – 79 с.

5. Павловская О.О. Теория автоматического управления. – Ч.1. Линейные системы. Учебное пособие. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2020. – 60 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

8.2.1 Программное обеспечение

- Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic;
- OpenOffice;
- Adobe Acrobat Reader
- Internet explorer;
- Mathlab
- SMath Studio.

8.2.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- Российское образование. Федеральный портал. <http://www.edu.ru/>
- Образовательный портал ВГТУ <https://education.cchgeu.ru/>

8.2.3 Информационные справочные системы

- <http://window.edu.ru>
- <https://wiki.cchgeu.ru/>

8.2.4 Современные профессиональные базы данных

- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

URL: <http://docs.cntd.ru>

- Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система. URL: www1.fips.ru

- Национальная электронная библиотека. URL: elibrary.ru

- Electrical 4U. Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник». Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Основы автоматического управления» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета систем автоматического управления и их динамических

звеньев. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных работ для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--