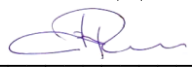


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  Ряжских В.И.
« 25 » ноября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Исполнительные системы роботов»

Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль Промышленные роботы и робототехнические системы

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы



В.А. Трубецкой

**Заведующий кафедрой
Технологии сварочного
производства и диагностики**



В.Ф. Селиванов

Руководитель ОПОП



В.Ф. Селиванов

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины обеспечение специальной профессиональной подготовки, позволяющей будущим специалистам использовать основные методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, а также разрабатывать математические модели электромеханических модулей мехатронных и робототехнических систем методами теории автоматического управления.

Изучение дисциплины должно развить способности специалиста разрабатывать макеты электромеханических модулей мехатронных и робототехнических систем, проводить энергетический расчет и выбор исполнительных элементов, а также выполнять регулировочные расчеты – синтез алгоритмов управления и корректирующих устройств.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- освоение принципов построения, аналитического и структурного описания систем воспроизведения движений и их элементов;
- изучение методов анализа энергетических, статических, динамических и эксплуатационных свойств исполнительных систем (ИС) роботов и других систем воспроизведения движений в процессе их разработки и проектирования, а также при оценке использования имеющихся систем в новых условиях эксплуатации;
- изучение методов обеспечения заданных технических характеристик ИС параметрическими и структурными средствами;
- освоение принципов проектирования, методик расчета настроек и выполнения регулировок.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Исполнительные системы роботов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Исполнительные системы роботов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен обеспечить эффективную эксплуатацию промышленных роботов и роботизированных комплексов в машиностроении

ПК-3 - Способен на организационное, материальное и документационное обеспечение ремонта промышленных роботов и роботизированных комплексов в машиностроении

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	Знать электродвигатели, типовые датчики обратных

	связей; статические и динамические характеристики силовых агрегатов; принципы построения электроприводов
	Уметь выбирать различные типы приводов для конкретных робототехнических и мехатронных систем; настраивать систему следящих электроприводов на рациональные режимы с помощью методов проектирования
	Владеть навыками работы с электронными измерительными приборами; теоретическими и экспериментальными методами исследования, разработки и эксплуатации приводов мехатронных и робототехнических систем.
ПК-3	Знать устройство и принцип действия исполнительных систем различного типа
	Уметь осуществлять настройку объектов робототехники на оптимальный режим, ремонт промышленных роботов и роботизированных комплексов
	Владеть методами конструирования подсистем роботов, навыками расчета и выбора силовых и управляющих элементов систем управления и исполнительных систем

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Исполнительные системы роботов» составляет 6 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Самостоятельная работа	144	144
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	216	216
зач.ед.	6	6

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.	СРС	Всего, час
1	Архитектура и характеристики исполнительных систем. Специфика исполнительных систем как объектов управления	Состав исполнительной системы (ИС) промышленных роботов (ПР). Функциональная схема ИС одной степени подвижности. Особенности исполнительных систем роботов. Алгоритмы функционирования, требования к управляемости, источники информации и энергетика цикловых, позиционных и контурных ИС. Особенности ИС адаптивных роботов. Взаимовлияние степеней подвижности в многокоординатных ИС. Аддитивные и параметрические связи, их учет при анализе и синтезе. Анализ манипуляционного механизма робота, как многосвязного объекта управления ИС.	6	6	24	36
2	Приводы исполнительных систем и их элементы	Общие требования к двигателям ИС ПР. Факторы, определяющие диапазон регулирования, динамические свойства и перегрузочную способность двигателей. Параметры ДПТ НВ, его математическое описание. Управляемые источники энергии (УИЭ) для ДПТ НВ, общие требования к ним. Функциональная схема УИЭ, основные параметры. Устройство, параметры, характеристики и особенности широтно-импульсных преобразователей, их математическое описание. Назначение датчиков обратных связей (ОС) и основные требования к их свойствам. Датчики ускорения, силомоментные, тока, их конструктивные особенности, схемы, структура, параметры. Датчики положения, их конструктивные особенности, схемы, структура, параметры. Схема, передаточная функция, параметры, переходная и ЛАЧ характеристики регуляторов П, И, Д и ПИ типов.	6	6	24	36
3	Статика и динамика исполнительных систем	Математические модели и свойства силовых частей приводов электромеханической ИС. Влияние обратной связи по скорости, на коэффициент передачи по управлению и возмущению, на инерционность, эквивалентное сопротивление якорной цепи и демпфированность электромеханической ИС. Влияние отрицательной обратной связи по току на свойства контура тока и свойства ИС относительно скорости. Свойства ИС с задержанной обратной связью по току. Свойства ИС с последовательным токоограничением. Взаимосвязь параметров установившихся режимов и переходных процессов контуров регулирования с их ЛАЧХ в разомкнутом состоянии. Влияние СЧ и ВЧ частей ЛАЧХ разомкнутых контуров на их свойства в замкнутом состоянии.	6	6	24	36
4	Энергетика исполнительных систем	Нагрузки ИС, инерционности, уравновешенность. Размещение двигателей и датчиков обратных связей на манипуляционном механизме. Влияние податливости звеньев кинематической цепи, люфтов и нелинейностей на процессы в ИС. Момент и мощность двигателя ИС. Особенности задачи энергетического расчета ИС. Оптимальные скорость, время и путь разгона/торможения позиционных ИС с большим типовым	6	6	24	36

		перемещением. Оптимизация передаточного числа редуктора контурных и позиционных ИС с малым типовым перемещением. Оптимизация передаточного числа редуктора позиционных ИС с большим типовым перемещением. Методика выбора двигателя и передаточного редуктора ИС. Критерии выбора двигателя, проверка правильности выбора.				
5	Подчиненное регулирование и оптимизация динамики	Принципы построения и функционирования систем подчиненного регулирования (СПР). Амплитудно-частотный (модульный) критерий настройки (МО) и показания к его применению. Методика определения передаточной функции регулятора при настройке на МО. Настройка на МО контура с объектом, содержащим малые постоянные времени. Настройка на МО контура с апериодическими звеньями с одной большой и остальными малыми постоянными. Свойства по управлению и возмущению контура, с объектом в виде апериодического звена при настройке на МО. Порядок настройки на МО контура скорости при оптимизированном на МО контуре тока. Свойства по управлению и возмущению настроенного на МО контура скорости при оптимизированном по МО контуре тока. Понятие симметричного оптимума, показания к его применению. Порядок настройки контура скорости на СО. Требования к настройке контуров тока и скорости ИС с позиционным и контурным управлением.	6	6	24	36
6	Особенности систем воспроизведения движений с микропроцессорным управлением и цифровыми регуляторами	Дискретность управления и требования по быстродействию. Способы включения цифровых устройств с ИС. Особенности, достоинства и недостатки программной реализации регуляторов.	6	6	24	36
Итого			36	36	144	216

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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 электродвигатели, типовые датчики обратных связей; статические и динамические характеристики силовых агрегатов; принципы построения электроприводов	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выбирать различные типы приводов для конкретных робототехнических и мехатронных систем; настраивать систему следящих электроприводов на рациональные режимы с помощью методов проектирования	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками работы с электронными измерительными приборами; теоретическими и экспериментальными методами исследования, разработки и эксплуатации приводов мехатронных и робототехнических систем.	Коллоквиум	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	Знать устройство и принцип действия исполнительных систем различного типа	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь осуществлять настройку объектов робототехники на оптимальный режим, ремонт промышленных роботов и роботизированных комплексов	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методами конструирования подсистем роботов, навыками расчета и выбора силовых и управляющих элементов систем управления и исполнительных систем	Коллоквиум	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 четырехбалльной системе:

«отлично»;
«хорошо»;
«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	Знать электродвигатели, типовые датчики обратных связей; статические и динамические характеристики силовых агрегатов; принципы построения электроприводов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь выбирать различные типы приводов для конкретных робототехнических и мехатронных систем; настраивать систему следящих электроприводов на рациональные режимы с помощью методов проектирования	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками работы с электронными измерительными приборами; теоретическими и экспериментальными методами исследования, разработки и эксплуатации приводов мехатронных и робототехнических систем.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	Знать устройство и принцип действия исполнительных систем различного типа	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь осуществлять настройку объектов робототехники на оптимальный режим, ремонт промышленных роботов и роботизированных комплексов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами конструирования подсистем роботов, навыками расчета и выбора силовых и управляющих элементов систем управления и исполнительных систем	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные)

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. Механическая характеристика электродвигателя – это зависимость:

- 1) угловой скорости от момента на валу
- 2) угловой скорости от электромагнитного момента
- 3) тока от электромагнитного момента
- 4) угловой скорости от тока
- 5) тока от момента на валу

2. Семейство механических характеристик ДПТ с независимым возбуждением при изменении напряжения якоря имеет вид:

- 1) прямых, проходящих через одну точку скорости идеального холостого хода
- 2) прямых, проходящих через одну точку момента короткого замыкания
- 3) параллельных прямых
- 4) прямых, проходящих через одну точку тока короткого замыкания

3. Отметьте правильный ответ:

При увеличении нагрузки на валу двигателя постоянного тока ток якоря:

- 1) увеличивается
- 2) остается неизменным
- 3) уменьшается
- 4) сначала увеличивается, а затем уменьшается до номинального значения

4. Выбрать правильное утверждение:

При настройке контура регулирования на модульный оптимум:

- 1) установившееся значение статической ошибки не равно нулю
- 2) установившееся значение статической ошибки равно нулю
- 3) установившееся значение скоростной ошибки равно нулю
- 4) установившиеся значения статической и скоростной ошибки не равны нулю

5. Пневмоприводы применяют в манипуляторах:

- 1) с цикловой системой управления
- 2) с контурной системой управления
- 3) с позиционной системой управления
- 4) с контурной и позиционными системами управления

6. Отметьте правильный ответ:

При настройке контура регулирования на модульный оптимум переходная характеристика имеет перерегулирование равное:

- 1) 43 %
- 2) 5 %
- 3) 4,3 %
- 4) 0

7. Определите наименее информативный тип датчиков:

- 1) тактильные
- 2) силомоментные
- 3) локационные

4) технического зрения

8. Позиционирование роботов с пневмоприводами обычно осуществляется:

- 1) по упорам
- 2) перекрытием проходных сечений распределителя
- 3) регулированием давления в полостях пневмодвигателя
- 4) изменением сечения дросселя

9. Ограничение выходного сигнала регулятора скорости в системе подчиненного регулирования ограничивает:

- 1) скорость
- 2) ток
- 3) статический момент
- 4) скорость нарастания тока

10. Увеличение коэффициента усиления в прямом канале САР скорости:

- 1) приводит к увеличению жесткости механической характеристики
- 2) приводит к уменьшению жесткости механической характеристики
- 3) не влияет на жесткость механической характеристики
- 4) к уменьшению коэффициента передачи разомкнутой системы

11. Выбрать правильное утверждение:

Среднечастотная часть ЛАЧХ системы определяет ее:

- 1) статическую точность
- 2) скоростную ошибку
- 3) время регулирования и перерегулирование
- 4) помехоустойчивость

12. Отметьте правильный ответ:

В режиме динамического торможения двигатель:

- 1) отдает энергию в источник электрической энергии
- 2) потребляет электрическую и механическую энергию
- 3) работает как автономный генератор
- 4) преобразует электрическую энергию в механическую

13. Отметьте правильный ответ:

При настройке контура регулирования на модульный оптимум длительность переходного процесса зависит от:

- 1) величины постоянной времени объекта
- 2) величины малой не компенсируемой постоянной времени
- 3) значения коэффициента передачи контура в разомкнутом состоянии
- 4) значения коэффициента передачи контура в замкнутом состоянии

14. Жесткость механической характеристики разомкнутой системы

«преобразователь–двигатель» определяется:

- 1) величиной k_F , активным сопротивлением якоря и внутренним сопротивлением преобразователя
- 2) только активным сопротивлением якоря
- 3) только суммой активного сопротивления якоря и внутреннего сопротивления

преобразователя

4) только величиной $k\Phi$ и активным сопротивлением якоря

15. Для осуществления реверса ДПТ с постоянными магнитами необходимо:

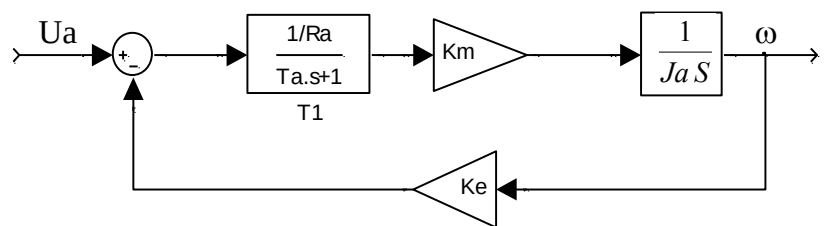
- 1) поменять полярность напряжения якоря;
- 2) поменять полярность напряжения возбуждения;
- 3) поменять схему соединения якоря и обмотки возбуждения;
- 4) поменять направление потока возбуждения

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Выбрать правильный ответ:

Для приведенной структуры ДПТ при увеличении момента инерции J_a установившееся значение скорости ω :

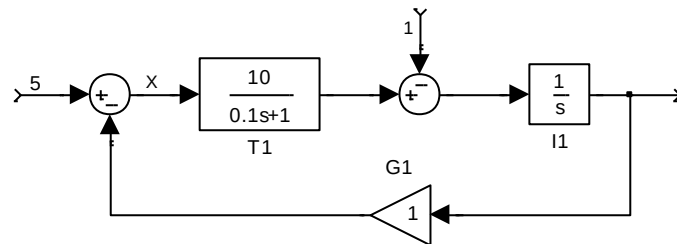
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) останется неизменным



2. Отметьте правильный ответ:

Суммарная установившаяся ошибка X для приведенной структуры будет равна

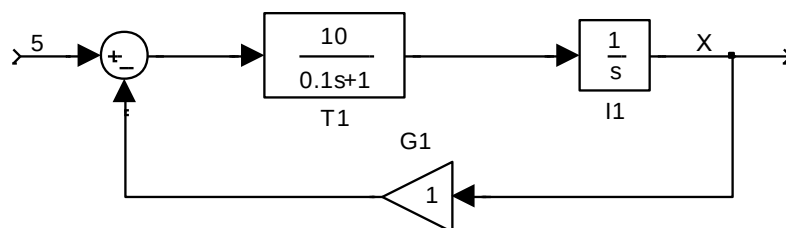
- 1) 0
- 2) 0,1
- 3) 0,5
- 4) 1,0



3. Отметьте правильный ответ:

В установившемся режиме выходная величина блока $I1$ (X) для приведенной структуры будет равна

- 1) 4,9
- 2) 4,0
- 3) 0
- 4) 5,0



4. Отметьте правильный ответ:

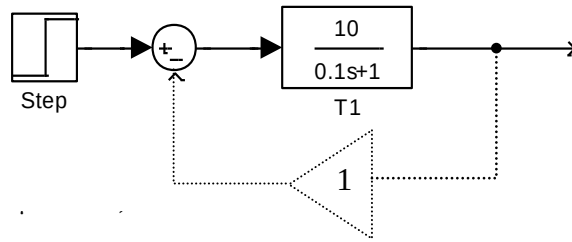
При настройке контура регулирования на модульный оптимум передаточная функция разомкнутого контура имеет вид:

1)
$$W(p) = \frac{1/k_{o.c.}}{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1}$$

$$2) W(p) = \frac{4T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}^2 p^2 (T_{\mu}p + 1)}$$

$$3) W(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}$$

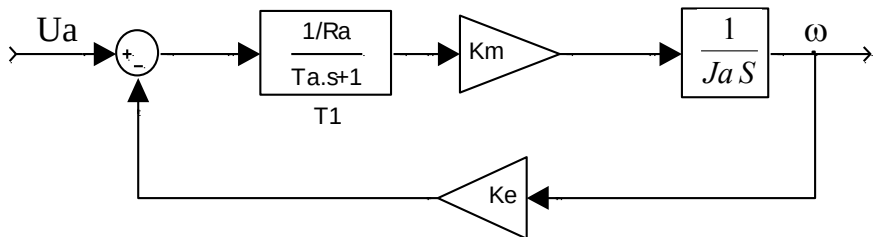
$$4) W(p) = \frac{4T_{\mu}p + 1}{(2T_{\mu}p + 1)(4T_{\mu}^2 p^2)}$$



5. Выбрать правильный ответ:

Для приведенной структуры ДПТ при увеличении питающего напряжения U_a установившееся значение скорости ω :

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) останется неизменным



6. Как по кривой переходной характеристики определить величину перерегулирования? Выберите правильный ответ.

1)

$$\sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{\max 2}}{h_{\max 1}} \cdot 100$$

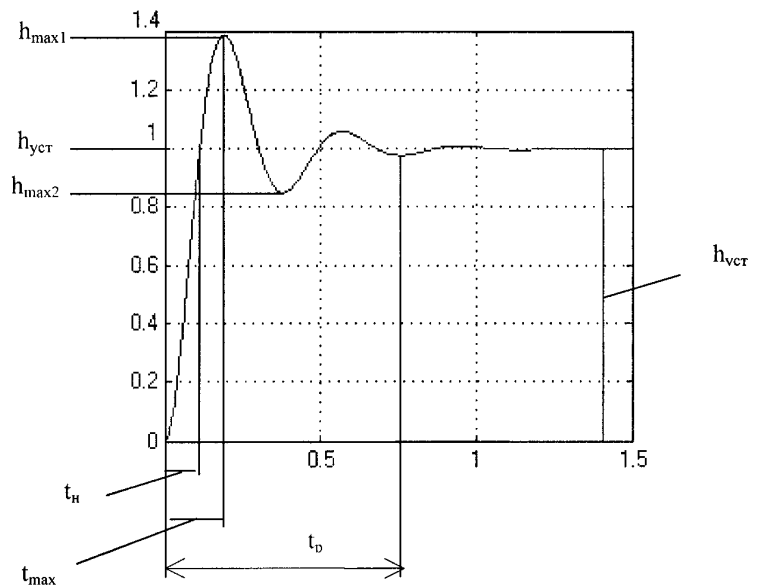
;

$$2) \sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{h_{\max 1}}$$

3)

$$\sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100;$$

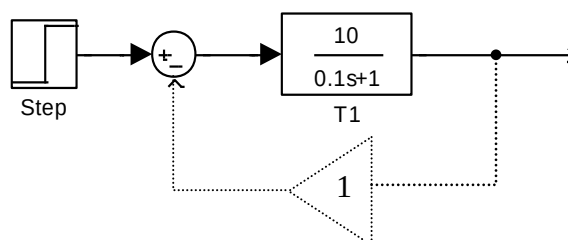
$$4) \sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{\max 2}}{h_{\max 2}}$$



7. Отметьте правильный ответ:

Как изменится время переходного процесса при охвате звена единичной отрицательной обратной связью

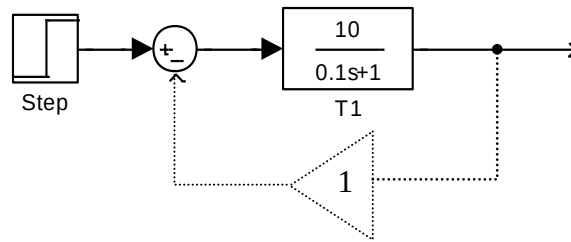
- 1) останется неизменным
- 2) увеличится
- 3) уменьшится
- 4) мало данных



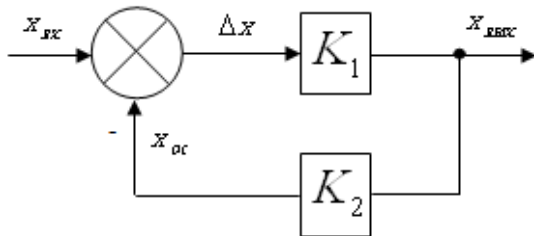
8. Отметьте правильный ответ:

Как изменится установившееся значение X при охвате звена единичной отрицательной обратной связью

- 1) останется неизменным
- 2) увеличится
- 3) уменьшится
- 4) мало данных



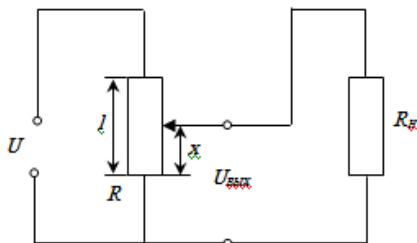
9. Коэффициент передачи по ошибке K_{ox} равен:



- 1) $\frac{K_1}{1 + K_1 K_2}$;
- 2) $\frac{1}{1 + K_1 K_2}$;
- 3) $\frac{K_2}{1 + K_1 K_2}$;
- 4) $\frac{1}{1 + K_1}$.

10. На рисунке приведена схема подключения нагрузки к потенциметрическому датчику

($\beta = \frac{R_i}{R}$; $\alpha = \frac{x}{l}$). Выходное напряжения датчика $U_{вых}$ равно:

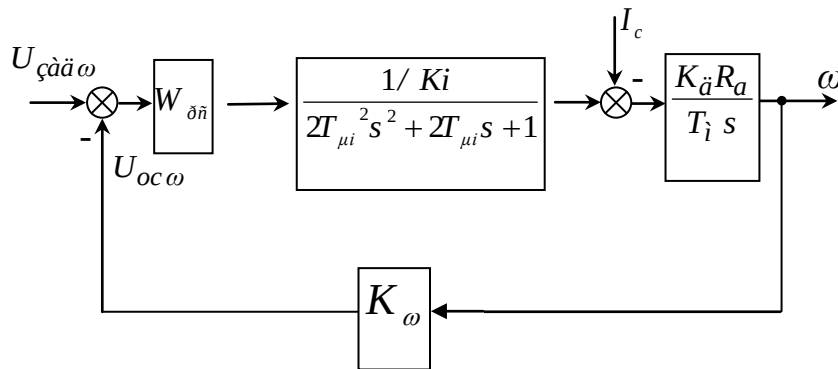


- 1) $\frac{U \cdot \alpha}{1 + \alpha(1 - \alpha)} \beta$;
- 2) $\frac{U \cdot \alpha}{1 + \alpha \beta}$;

- 3) $\frac{U}{\alpha + \beta(1 - \alpha)}$;
- 4) $\frac{U \cdot \beta}{1 + \alpha(1 - \alpha)\beta}$;

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задание 1



Определить установившееся значение скорости электропривода при подаче на вход задающего напряжения, равного 10В.

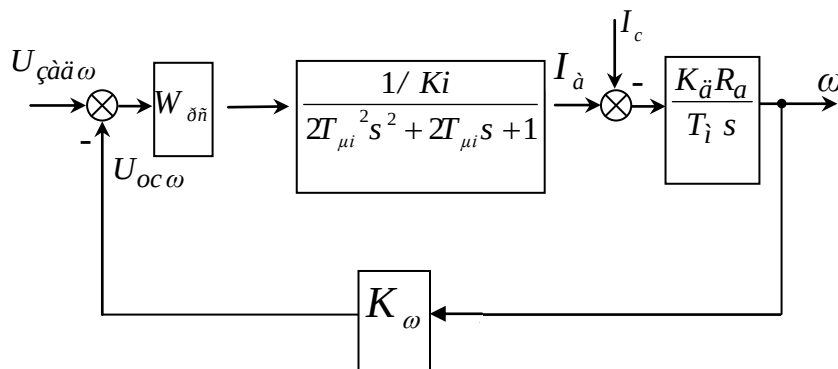
$$K_i = 2; T_a = 5 \text{ мс}; T_\mu = 0,2 \text{ мс}; R_a = 0,67 \text{ Ом}; K_f = 2,4; K_a = 20; K_\omega = 0,012 \frac{\hat{A} \cdot \tilde{n}}{\partial \hat{a} \tilde{a}};$$

$$J = 6 \cdot 10^{-5} \hat{e} \tilde{a} \cdot \hat{i}^2, W_{\delta \tilde{n}} = 2, I_c = 0.$$

Варианты ответа:

- 1) 314 рад/с;
- 2) 200 рад/с; +
- 3) 628 рад/с;
- 4) 0 рад/с.

Задание 2



Определить установившееся значение тока якоря при токе нагрузки $I_c = 1 \hat{A}$ и

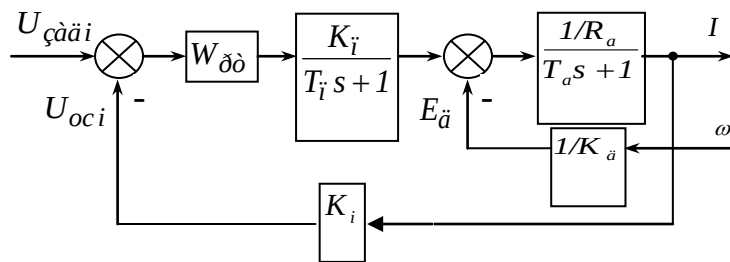
$U_{\zeta \hat{a} \hat{a} \omega} = 10 \hat{A}$. Параметры схемы: $K_i = 2; T_a = 5 \text{ мс}; T_\mu = 0,2 \text{ мс}; R_a = 0,67 \text{ Ом}; K_f$

$$=2,4; K_{\ddot{a}}=20; K_{\omega}=0,012 \frac{\hat{A} \cdot \tilde{n}}{\delta \ddot{a} \ddot{a}}; J=6 \cdot 10^{-5} \hat{e} \tilde{a} \cdot \dot{i}^2, W_{\delta \tilde{n}}=2.$$

Варианты ответа:

- 1) 1 A; +
- 2) 0 A;
- 3) 2 A;
- 4) 1,5 A.

Задание 3

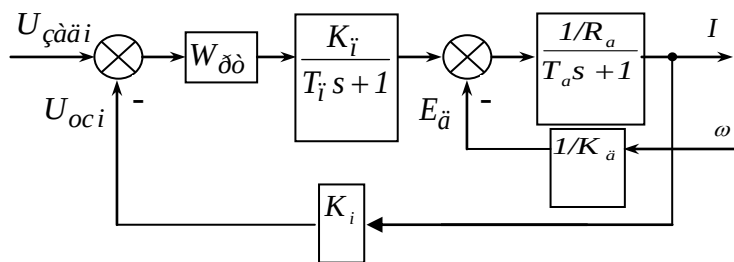


Рассчитать передаточную функцию регулятора тока $W_{\delta \dot{o}}$ при настройке контура на модульный оптимум. Обратную связь по ЭДС не учитывать. Параметры элементов контура: $K_{\ddot{i}}=2$; $T_{\ddot{a}}=5\text{мс}$; $T_{\ddot{i}}=0,2\text{мс}$; $R_a=0,67\text{Ом}$; $K_{\ddot{i}}=2,4$; $K_{\ddot{a}}=20$.

Выбрать правильный ответ:

- 1) 20;
- 2) $2+4/S$;
- 3) $1,74+349/S$; +
- 4) $3/S$.

Задание 4



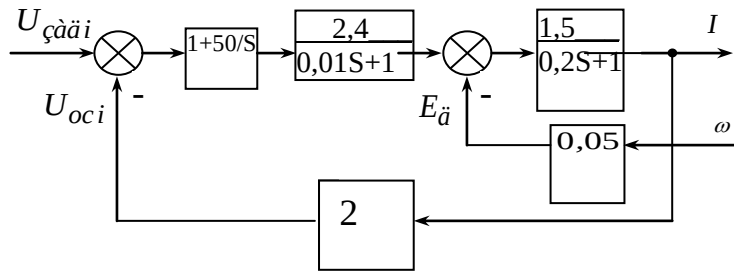
Определить передаточную функцию регулятора тока при заданных параметрах. Контур тока настроен на модульный оптимум.

Варианты ответа:

- 1) $\frac{R_a T_a}{2 T_{\ddot{i}} K_{\ddot{i}} K_{\ddot{a}}} + \frac{R_a}{2 T_{\ddot{i}} S K_{\ddot{i}} K_{\ddot{a}}} \cdot \frac{1}{S}$; +
- 2) $\frac{1}{K_{\ddot{i}} S}$;
- 3) $\frac{K_{\ddot{i}} K_{\ddot{a}} S}{T_{\ddot{i}}} + 1$;

4) $\frac{1}{K_i}$.

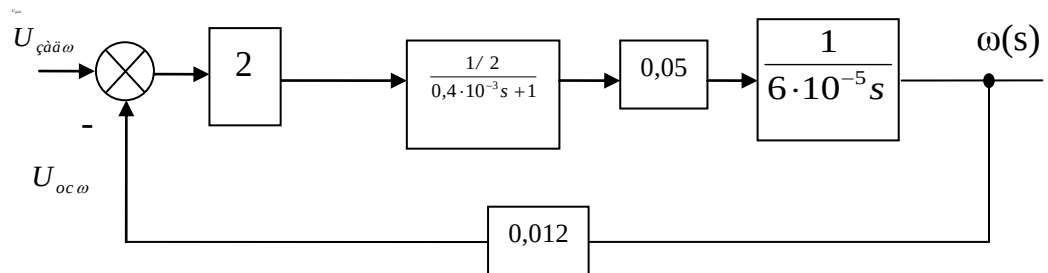
Задание 5



При подаче на вход контура тока единичного скачкообразного воздействия установившаяся ошибка будет равна:

- 1) 0;
- 2) 0,5;
- 3) 1;
- 4) 4,2.

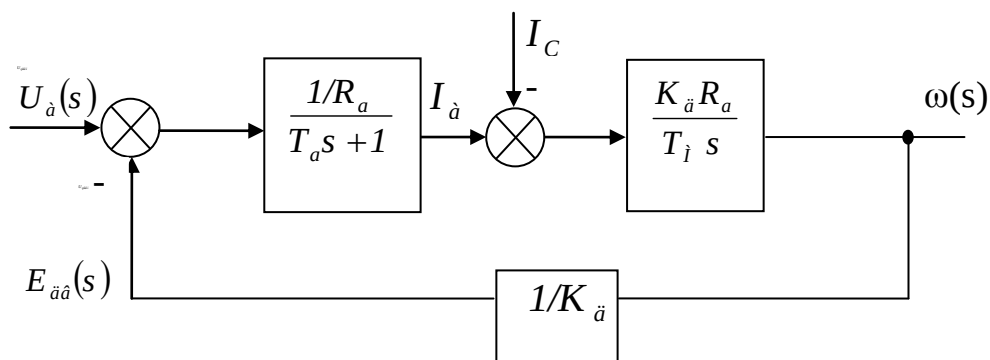
Задание 6



При подаче на вход системы скачкообразного воздействия $U_{\text{çäâ}\omega} = 10\text{Å}$ на выходе сумматора будет сигнал, равный:

- 1) 5В;
- 2) 0В;+
- 3) 1,5 В;
- 4) 4В.

Задание 7



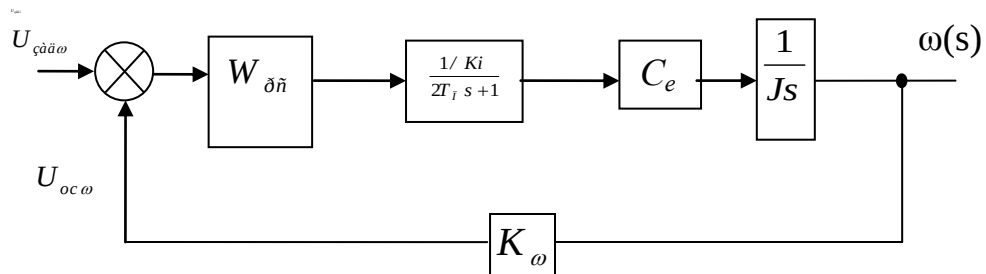
Составить передаточную функцию по управляющему воздействию для двигателя

постоянного тока структурной схемы, которая изображена на рисунке.

Варианты ответа:

- 1) $\frac{K_{\ddot{a}} R_a}{T_i s}$;
- 2) $1/K_{\ddot{a}}$;
- 3) $\frac{K_{\ddot{a}} R_a (T_a s + 1)}{T_a T_i s^2 + T_i s + 1}$;
- 4) $\frac{K_{\ddot{a}}}{T_a T_i s^2 + T_i s + 1}$.

Задание 8



Составить передаточную функцию по возмущающему воздействию для двигателя постоянного тока структурной схемы, которая изображена на рисунке.

Варианты ответа:

- 1) $\frac{K_{\ddot{a}} R_a}{T_i s}$;
- 2) $1/K_{\ddot{a}}$;
- 3) $-\frac{K_{\ddot{a}} R_a (T_a s + 1)}{T_a T_i s^2 + T_i s + 1}$;
- 4) $\frac{K_{\ddot{a}}}{T_a T_i s^2 + T_i s + 1}$.

Задание 9

Осуществить расчет коэффициента передачи ЦАП, если $U_{\ddot{n}} = 10\hat{A}$, а $n_{\ddot{\alpha}\ddot{i}} = 4$

- 1) 2;
- 2) 0,67;+
- 3) 1;

4) 0,5.

Задание 10

Осуществить расчет коэффициента передачи АЦП, если $\varphi_{\dot{n} \max} = 0,5$, а $n_{\dot{A}\ddot{O}\ddot{I}} = 4$.

Варианты ответа:

- 1) 16;
- 2) 15;
- 3) 30;+
- 4) 1.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Состав ИС ПР. Функциональная схема одной степени подвижности.
2. Требования к ИСР.
3. Общие требования к приводам ИС ПР.
4. Алгоритм функционирования, требования к управляемости, источники информации и энергетика цикловых ИС.
5. Алгоритм функционирования, требования к управляемости, источники информации и энергетика позиционных ИС.
6. Алгоритм функционирования, требования к управляемости, источники информации и энергетика контурных ИС.
7. Особенности ИС адаптивных ПР.
8. Специфика ИС как объектов управления.
9. Анализ манипуляционного механизма робота, как многосвязного объекта управления ИС.
10. Взаимовлияние степеней подвижности в многокоординатных ИС. Аддитивные и параметрические связи, их учет при анализе и синтезе.
11. Параметры ДПТ НВ, его математическое описание.
12. Управляемые источники энергии для ДПТ НВ. Общие требования к ним.
13. Устройство, параметры, характеристики и особенности ШИП их математическое описание.
14. Датчики ОС и основные требования к ним.
15. Применение датчиков в цепях ОС ИС.
16. Регуляторы, их назначение.
17. Математические модели и свойства силовых частей приводов ИС.
18. Координаты силовой части ИС, подлежащие регулированию.
19. Влияние ОС по скорости на чувствительность по управлению и возмущению, на инерционность, эквивалентное сопротивление якорной цепи и демпфированность электромеханической ИС.
20. Влияние ОС по току на чувствительность по управлению и возмущению, на инерционность, эквивалентное сопротивление якорной цепи и демпфированность электромеханической ИС.
21. Влияние ОС по току на свойства ИС относительно скорости.
22. Математическая модель замкнутой по положению и скорости ИС.
23. Взаимосвязь параметров установившихся режимов и переходных процессов контуров регулирования с их ЛАЧХ в разомкнутом состоянии.
24. Необходимость ограничения координат в ИС с отрицательными связями.

- Свойства ИС с ограничениями координат.
25. Влияние люфтов и нелинейностей звеньев кинематической цепи на процессы в ИС.
 26. Влияние податливости звеньев кинематической цепи на процессы в ИС.
 27. Нагрузки ИС, инерционности, уравновешенность.
 28. Размещение двигателей и датчиков ОС на манипуляционном механизме.
 29. Момент и мощность двигателя ИС.
 30. Критерии выбора двигателя. Проверка правильности выбора.
 31. Взаимосвязь энергетики ИС с ее статическими и динамическими свойствами.
 32. Оптимизация передаточного числа редуктора позиционных ИС с большим типовым перемещением.
 33. Оптимизация передаточного числа редуктора контурных и позиционных ИС с малым типовым перемещением.
 34. Особенности энергетического расчета.
 35. Порядок настройки на МО контура скорости при оптимизированном на МО контуре тока.
 36. Принципы построения и функционирования СПР.
 37. Понятие оптимальной настройки контуров и критерии настройки.
 38. Амплитудно-частотный (модульный) критерий настройки и показания к его применению.
 39. Методика определения передаточной функции регулятора при настройке на МО.
 40. Настройка на МО контуров с объектами разного типа.
 41. Свойства по управлению и возмущению настроенного на МО контура скорости при оптимизированном на МО контуре тока.
 42. Понятие СО. Показания к его применению.
 43. Порядок настройки контура скорости на СО.
 44. Асинхронный двигатель как объект частотного автоматического управления. Способы формирования электромагнитного момента двигателя.
 45. Непосредственный преобразователь частоты как элемент системы электропривода.
 46. Принципы построения систем подчиненного регулирования асинхронных частотно-регулируемых приводов.
 47. Рациональные законы связанного управления асинхронным двигателем.
 48. Частотно-токовая система регулирования скорости.
 49. Векторное управление асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.
 50. Система векторного управления асинхронным двигателем с непосредственной ориентацией по вектору магнитного потока ротора.
 51. Система частотного управления с поддержанием постоянства скольжения АД.
 52. Структура электропривода по системе НПЧ-СД.
 53. Расчет и выбор мощности АД при частотном регулировании.
 54. Расчет и выбор мощности СД при частотном регулировании.
 55. Методика расчета параметров систем с подчиненным регулированием.
 56. Настройка контура регулирования скорости на МО.
 57. Настройка контура регулирования скорости на СО.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

(Например: Экзамен 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 «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Архитектура и характеристики исполнительных систем. Специфика исполнительных систем как объектов управления	ПК-1, ПК-3	Тест
2	Приводы исполнительных систем и их элементы	ПК-1, ПК-3	Тест
3	Статика и динамика исполнительных систем	ПК-1, ПК-3	Тест
4	Энергетика исполнительных систем	ПК-1, ПК-3	Тест
5	Подчиненное регулирование и оптимизация динамики	ПК-1, ПК-3	Тест
6	Особенности систем воспроизведения движений с микропроцессорным управлением и цифровыми регуляторами	ПК-1, ПК-3	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. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учеб. пособие. – СПб.: Издательство «Лань». 2012.
2. Климов А.С., Машнин Н.Е. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 240 с.
3. Проектирование исполнительных систем роботов: учебное пособие / [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (Мб) / В.А. Трубецкой, В.А. Медведев, С.С. Ревнёв. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018.
4. Проектирование исполнительных систем роботов: учебное пособие / [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (Мб) / В.А. Трубецкой, В.А. Медведев, С.С. Ревнёв. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018

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:

Лицензионное программное обеспечение

1. LibreOffice;
2. Apache OpenOffice 4.1.11;
3. Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic;
4. Acrobat Pro 2017 Multiple Platforms Russian AOO License TLP;
5. FEMM 4.2;
6. SciLab;
7. MATLAB Classroom;
8. Simulink Classroom.

Отечественное ПО

1. «Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат. ВУЗ»».

2. Модуль «Программный комплекс поиска текстовых заимствований в открытых источниках сети интернет «Антиплагиатинтернет»».

3. Модуль обеспечения поиска текстовых заимствований по коллекции диссертаций и авторефератов Российской государственной библиотеки (РГБ).

4. Модуль поиска текстовых заимствований по коллекции научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

Ресурс информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

<http://www.edu.ru/>

Образовательный портал ВГТУ

Информационная справочная система

1. <http://window.edu.ru>

2. <https://wiki.cchgeu.ru/>

Современные профессиональные базы данных

1. Электротехника. Сайт об электротехнике

Адрес ресурса: <https://electrono.ru>

2. Электротехнический портал

<http://электротехнический-портал.рф/>

3. Силовая электроника для любителей и профессионалов

Адрес ресурса: <http://www.multikonelectronics.com/>

4. Netelectro

Новости электротехники, оборудование и средства автоматизации.

Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления

Адрес ресурса: <https://netelectro.ru/>

5. Marketelectro

Отраслевой электротехнический портал. Представлены новости отрасли и компаний, объявления, статьи, информация о мероприятиях, фотогалерея, видеоматериалы, нормативы и стандарты, библиотека, электромаркетинг.

Адрес ресурса: <https://marketelectro.ru/>

6. Электромеханика

Адрес ресурса: <https://www.electromechanics.ru/>

7. Electrical 4U

Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник»

Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>

8. All about circuits

Одно из самых крупных онлайн-сообществ в области электротехники. На сайте размещены статьи, форум, учебные материалы (учебные пособия, видеолекции, разработки, вебинары) и другая информация

Адрес ресурса: <https://www.allaboutcircuits.com>

9. Библиотека ООО «Электропоставка»
 Адрес ресурса: <https://elektropostavka.ru/library>
10. Электрик
 Адрес ресурса: <http://www.electrik.org/>
11. Чертежи.ru
 Адрес ресурса: <https://chertezhi.ru/>
12. Электроспец
 Адрес ресурса: <http://www.elektrospets.ru/index.php>
13. Библиотека WWER
 Адрес ресурса: <http://lib.wwer.ru>
14. Единая система конструкторской документации.
 Адрес ресурса: https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoy_dokumentatsii

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

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

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

По дисциплине «Исполнительные системы роботов» читаются лекции, проводятся практические занятия.

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 укрепление знаний по вопросам исследования и синтеза исполнительных систем. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.

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 с оценкой 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