

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета А.В. Бурковский
«31» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Основы систем управления электроприводами»

Направление подготовки 13.03.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Профиль Электропривод и автоматика

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 5 лет

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2016

Автор программы

В.А. Медведев / В.А. Медведев /

Заведующий кафедрой
Электропривода,
автоматики и управления в
технических системах

В.Л. Бурковский / В.Л. Бурковский /

Руководитель ОПОП

В.М. Питолин / В.М. Питолин /

Воронеж 2017

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Обеспечение подготовки, позволяющей разрабатывать системы управления электроприводами постоянного и переменного тока на основе типовых узлов, синтезировать регуляторы, придающие электроприводам требуемые показатели качества, а также формирование практических навыков использования методов анализа и моделирования электрических цепей, участия в монтаже элементов оборудования при проведении экспериментальных исследований, расчета режимов работы и параметров оборудования электромеханических комплексов.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- изучение структуры электропривода с системами управления верхнего и нижнего уровней, а также задач, возлагаемых на уровни управления;
- освоение методов нечеткой логики и принципов разработки систем фаззи-управления электроприводами;
- ознакомление студентов с синтезом систем модального управления электроприводами методом стандартных уравнений;
- изучение принципов построения систем управления с подчиненным регулированием координат, применяя методы анализа и моделирования электрических цепей;
- освоение принципов построения, способов и технических средств реализации систем управления скоростью и положением электроприводов;
- приобретение навыков теоретического и экспериментального исследования систем управления скоростью и положением электроприводов, расчета режимов работы и параметров оборудования электромеханических комплексов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Основы систем управления электроприводами» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ОПК-3 - способность использовать методы анализа и моделирования электрических цепей;

ПВК-3 - способность к участию в монтаже элементов оборудования при проведении экспериментальных исследований;

ПВК-4 - способность рассчитывать режимы работы и параметры оборудования электромеханических комплексов и электроэнергетических систем.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие
-------------	--------------------------------------

	сформированность компетенции
ОПК-3	знать: принципы построения систем управления электроприводами постоянного и переменного тока, применяя методы анализа и моделирования электрических цепей;
	уметь: разрабатывать системы управления электроприводами на основе типовых узлов, используя методы анализа и моделирования электрических цепей;
	владеть: способностью практического использования методов анализа и моделирования электрических цепей при синтезе систем управления электроприводами.
ПВК-3	знать: технические операции при подготовке элементов систем управления электроприводов к монтажу;
	уметь: разрабатывать методику проведения экспериментальных исследований электроприводов постоянного и переменного тока;
	владеть: навыками монтажа элементов систем управления электроприводами при проведении экспериментальных исследований.
ПВК-4	знать: режимы работы и параметры оборудования электромеханических комплексов;
	уметь: рассчитывать параметры систем управления электроприводами в соответствии с требуемыми режимами работы оборудования электромеханических комплексов;
	владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования оборудования электромеханических комплексов в различных режимах работы.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Основы систем управления электроприводами» составляет 6 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		

Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа	108	108
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы	216	216
з.е.	6	6

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
Аудиторные занятия (всего)	18	18
В том числе:		
Лекции	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	10	10
Самостоятельная работа	189	189
Контрольная работа	+	+
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы	216	216
з.е.	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.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Общая характеристика систем управления электроприводов	Понятие о системах управления электроприводов. Классификация систем управления электроприводов. Показатели качества управления электроприводов.	2	–	–	8,5	10,5

2	Логические системы управления электроприводами на основе фаззи-логики	Функции принадлежности и нечеткие множества. Алгоритмы поиска решения в совокупности нечетких множеств. Нечеткое управление.	2	2	6	9,5	19,5
3	Системы модального управления электроприводами	Общая характеристика модального управления. Электропривод с модальным управлением. Синтез модального регулятора методом стандартных уравнений.	4	2	6	26,5	38,5
4	Системы управления с подчиненным регулированием координат	Функциональная и структурная схемы электропривода с подчиненным регулированием тока и скорости. Синтез регуляторов скорости и тока.	4	4	12	27,5	47,5
5	Системы управления скоростью электроприводов постоянного тока	Однократно и двукратно интегрирующая система управления скоростью электропривода постоянного тока с подчиненным контуром тока.	2	4	12	12,5	30,5
6	Системы управления скоростью электроприводов переменного тока	Разомкнутые системы управления асинхронного электропривода. Замкнутые системы частотного управления. Системы частотно-токового управления.	2	2	–	5,5	9,5
7	Системы управления положением электроприводов	Позиционные и следящие электроприводы. Структурная схема следящего электропривода с подчиненным регулированием положения, скорости и тока.	2	4	–	18,0	24,0
Итого			18	18	36	108	180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Общая характеристика систем управления электроприводов	Классификация систем управления электроприводов. Показатели качества управления электроприводов.	1	-	6	7
2	Логические системы управления электроприводами на основе фаззи-логики	Алгоритмы поиска решения в совокупности нечетких множеств. Нечеткое управление электроприводами.	1	2	32	35
3	Системы модального управления электроприводами	Электропривод с модальным управлением. Синтез модального регулятора методом стандартных уравнений.	1	2	35	38
4	Системы управления с подчиненным регулированием координат	Электроприводы с подчиненным регулированием тока и скорости. Синтез регуляторов скорости и тока.	1	2	36	39
5	Системы управления скоростью электроприводов постоянного тока	Однократно и двукратно интегрирующая система управления скоростью электропривода постоянного тока.	2	4	29	35
6	Системы управления скоростью электроприводов переменного тока	Разомкнутые и замкнутые системы частотного управления. Системы частотно-токового управления.	1	-	35	36
7	Системы управления положением электроприводов	Позиционные и следящие электроприводы. Следящий электропривод с подчиненным регулированием координат.	1	-	16	17
Итого			8	10	189	207

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование системы нечеткого управления электроприводом постоянного тока.
2. Исследование системы модального управления электроприводом постоянного тока.
3. Исследование системы подчиненного регулирования координат электропривода.

4. Исследование системы двухзонного регулирования скорости электропривода.
5. Исследование исполнительной системы с обратной связью по скорости.
6. Исследование исполнительной системы с обратной связью по току.

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

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

Предусмотрено выполнение контрольной работы в 9 семестре для студентов заочной формы обучения на тему «Разработка и моделирование системы управления электроприводом».

В ходе выполнения контрольной работы решаются следующие задачи:

- определение статических и динамических нагрузок, влияющих на выбор системы управления;
- расчет мощности двигателя и выбор двигателя с преобразователем;
- обоснование выбора метода управления, позволяющего обеспечить высокое качество управления приводом в статических и динамических режимах в широком диапазоне регулирования скоростей;
- разработка математической модели регулируемого электропривода с учетом управляющих и возмущающих воздействий;
- исследование динамических и статических характеристик электропривода с позиции выбранных критериев качества;
- оценка точности отработки управляющих сигналов.

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
ОПК-3	знать: принципы построения систем управления электроприводами постоянного и переменного тока, применяя методы анализа и моделирования электрических цепей	Полнота знания принципов построения систем управления электроприводами постоянного и переменного тока	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: разрабатывать	Осознанность разработки	Выполнение работ в срок,	Невыполнение работ

	системы управления электроприводами на основе типовых узлов, используя методы анализа и моделирования электрических цепей	системы управления электроприводами на основе типовых узлов	предусмотренный в рабочих программах	в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: способностью практического использования методов анализа и моделирования электрических цепей при синтезе систем управления электроприводами	Высокий уровень самостоятельности использования методов анализа и моделирования электрических цепей при синтезе систем управления электроприводами	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПВК-3	знать: технические операции при подготовке элементов систем управления электроприводов к монтажу	Системность знания технических операций при подготовке элементов систем управления электроприводов к монтажу	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: разрабатывать методику проведения экспериментальных исследований электроприводов постоянного и переменного тока	Степень самостоятельности разработки методики проведения экспериментальных исследований электроприводов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: навыками монтажа элементов систем управления электроприводами при проведении экспериментальных исследований	Высокая адаптивность навыков монтажа элементов систем управления электроприводами при проведении экспериментальных исследований	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПВК-4	знать: режимы работы и параметры оборудования электромеханических комплексов	Полнота знания режимов работы и параметров оборудования электромеханических комплексов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: рассчитывать параметры систем управления электроприводами в соответствии с требуемыми режимами работы оборудования электромеханических комплексов	Осознанность расчета параметров систем управления электроприводами в соответствии с требуемыми режимами работы оборудования электромеханических комплексов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования оборудования электромеханических комплексов в различных режимах работы	Высокий уровень самостоятельности при теоретическом и экспериментальном исследовании оборудования электромеханических комплексов	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 8 семестре для очной формы обучения, 9 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-3	знать: принципы построения систем управления электроприводами постоянного и переменного тока, применяя методы анализа и моделирования электрических цепей	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: разрабатывать системы управления электроприводами на основе типовых узлов, используя методы анализа и моделирования электрических цепей	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: способностью практического использования методов анализа и моделирования электрических цепей при синтезе систем управления электроприводами	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
ПВК-3	знать: технические операции при подготовке элементов систем управления электроприводов к монтажу	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: разрабатывать методику проведения экспериментальных исследований электроприводов постоянного и переменного тока	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 монтажа элементов систем управления электроприводами при проведении экспериментальных исследований	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
ПВК-4	знать: режимы работы и параметры оборудования электромеханических комплексов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: рассчитывать параметры систем управления электроприводами в соответствии с требуемыми режимами	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	работы оборудования электромеханических комплексов		ответы	задачах		
	владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования оборудования электромеханических комплексов в различных режимах работы.	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 (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

Задание 1

Отметьте правильный ответ.

В разомкнутой системе управления отсутствует:

- 1) обратная связь;
- 2) защита от перегрузки;
- 3) исполнительный механизм;
- 4) преобразователь энергии.

Задание 2

Отметьте правильный ответ.

Что происходит с коэффициентом усиления при положительной обратной связи:

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) остается без изменения;
- 4) становится равным нулю;
- 5) равен бесконечности.

Задание 3

Отметьте правильный ответ.

Что происходит с коэффициентом усиления при отрицательной обратной связи:

- 1) уменьшается;
- 2) увеличивается;
- 3) равен бесконечности;
- 4) становится равным нулю.

Задание 4

Отметьте правильный ответ.

Задачей управляющей вычислительной машины является:

- 1) управление и выдача управляющих воздействий;
- 2) изменение параметров;
- 3) защита технологического процесса;
- 4) регулирование одного параметра;
- 5) замыкание цепи воздействия.

Задание 5

Отметьте правильный ответ.

Согласованное управление – это:

- 1) одинаковое изменение одного параметра;
- 2) разное изменение параметров;
- 3) изменение только на одном объекте;
- 4) рассогласование параметров.

Задание 6

Отметьте правильный ответ.

Верхний уровень системы управления электроприводами:

- 1) вырабатывает технологическое задание на движение рабочих органов;
- 2) формирует управляющие воздействия на двигатели;
- 3) измеряет температуру двигателей;
- 4) измеряет скорость двигателей.

Задание 7

Отметьте правильный ответ.

Нижний уровень системы управления электроприводами:

- 1) формирует статические, динамические, точностные характеристики электропривода;
- 2) формирует задающие воздействия на электроприводы;
- 3) обеспечивает согласованную работу нескольких электроприводов;
- 4) обеспечивает интеллектуальное управление технологической установкой.

Задание 8

Отметьте правильный ответ.

Какие средства в составе АСУТП не относятся к программным:

- 1) контроллеры;
- 2) операционные системы реального времени;
- 3) средства разработки и исполнения технологических программ;
- 4) системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления.

Задание 9

Отметьте правильный ответ.

Какие действия не относятся к сбору материалов для проектирования АСУТП:

- 1) разработка проектных решений отдельных элементов АСУТП;
- 2) формирование требований;
- 3) изучение объекта проектирования;
- 4) разработка и выбор варианта концепции системы.

Задание 10

Отметьте правильный ответ.

Какие действия не относятся к трудовым функциям при предпроектном обследовании оборудования:

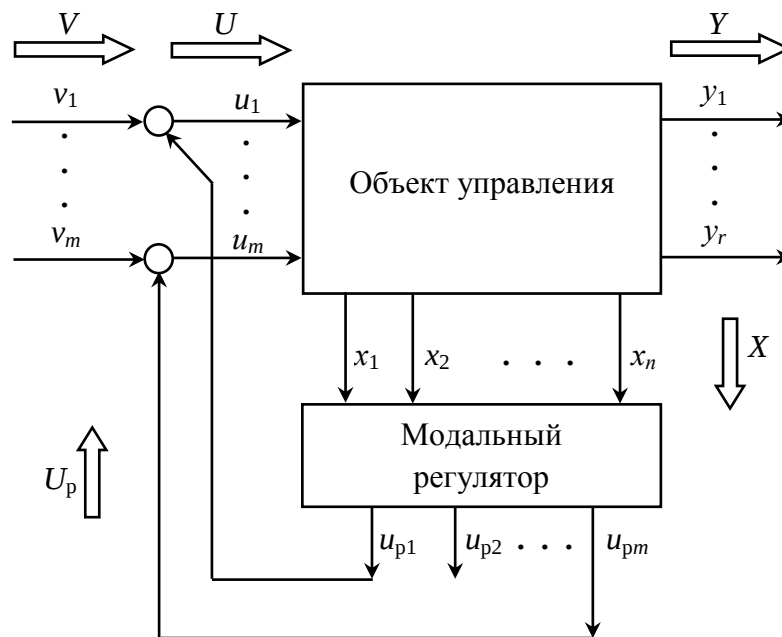
- 1) разработка проектных решений отдельных элементов электропривода;
- 2) анализ частного технического задания на предпроектное обследование оборудования;
- 3) определение характеристик оборудования;
- 4) подготовка материалов для отчета по результатам обследования оборудования.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Задание 1

Объект управления имеет входы $u_1, u_2, \dots, u_m$, выходы $y_1, y_2, \dots, y_r$ и переменные состояния

$x_1, x_2, \dots, x_n$, число которых равно числу независимых дифференциальных уравнений, описывающих динамику ОУ.



Структура системы с модальным управлением

Вектор состояния объекта управления $X(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$. Вектор выходов модального регулятора $U_p(t) = \{u_{p1}, u_{p2}, \dots, u_{pm}\}^T$. Вектор задающих сигналов $V(t) = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}^T$, вектор управляющих сигналов $U(t) = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}^T$.

Объект управления описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + b_{i1}u_1 + \dots + b_{im}u_m, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$y_j = c_{j1}x_1 + c_{j2}x_2 + \dots + c_{jn}x_n, \quad j = 1, \dots, r.$$

Уравнение модального регулятора и уравнение замыкания:

$$U_{pj} = k_{j1}x_1 + k_{j2}x_2 + \dots + k_{jn}x_n, \quad U_j = V_j - U_{pj}, \quad j = 1, \dots, m.$$

Необходимо получить описание системы с модальным управлением в матричной форме.

Варианты ответов:

- 1) $\dot{X}(t) = AX(t) - BU(t), \quad Y(t) = CX(t), \quad U_p(t) = KX(t), \quad U(t) = V(t) - U_p(t);$
- 2) $\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t), \quad Y(t) = CX(t), \quad U_p(t) = KX(t), \quad U(t) = V(t) + U_p(t);$
- 3) $\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t), \quad Y(t) = CX(t), \quad U_p(t) = KX(t), \quad U(t) = V(t) - U_p(t);$
- 4) $\dot{X}(t) = BX(t) + AU(t), \quad Y(t) = CX(t), \quad U_p(t) = KX(t), \quad U(t) = V(t) - U_p(t).$

Задание 2

Исходное уравнение n -го порядка разомкнутого по вектору состояния электропривода имеет вид:

$$D(p) = D_0 p^n + D_1 p^{n-1} + \dots + D_i p^{n-i} + D_{n-1} p + D_n = 0.$$

Для синтеза модального регулятора методом стандартных уравнений необходимо получить нормированную форму исходного уравнения.

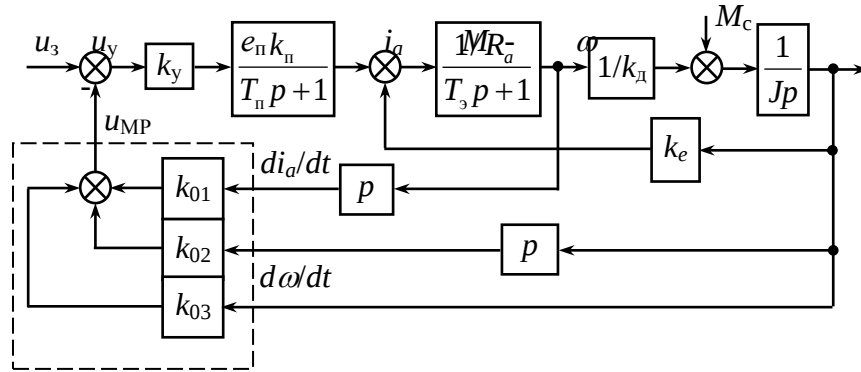
Варианты ответов:

- 1) $c_n S^n + c_{n-1} S^{n-1} + \dots + c_i S^{n-i} + \dots + c_1 S + 1 = 0;$

- 2) $S^n - c_1 S^{n-1} + \dots - c_i S^{n-i} + \dots + c_{n-1} S - 1 = 0;$
- 3) $S^n + c_1 S^{n-1} + \dots + c_i S^{n-i} + \dots + c_{n-1} S + 1 = 0;$
- 4) $S^n + c_1 S^{n-1} - \dots + c_i S^{n-i} + \dots - c_{n-1} S + 1 = 0.$

Задание 3

Электропривод постоянного тока имеет управляемый преобразователь с коэффициентом усиления k_{π} и постоянной времени T_{π} , безынерционный усилитель с коэффициентом усиления k_y и двигатель, представленный апериодическим, интегрирующим звеньями и отрицательной обратной связью с коэффициентом противоЭДС $k_e = 1/k_d$.



Структурная схема электропривода постоянного тока

Управляемый преобразователь, усилитель и двигатель описываются исходной системой уравнений

$$(T_{\pi} p + 1) e_{\pi} = k_{\pi} k_y u_y, \quad (T_{\pi} p + 1) i = \frac{1}{R_a} (e_{\pi} - \frac{1}{k_d} \omega), \quad J p \omega = M - M_c, \quad M = i / k_d.$$

Получить уравнение разомкнутого по вектору состояния электропривода относительно выходной координаты ω .

Варианты ответов:

- 1) $(T_{\pi} T_{\pi} T_{\pi} p^3 + T_{\pi} T_{\pi} p^2 + (T_{\pi} + T_{\pi}) p + 1) \omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_{\pi} T_{\pi} p^2 + (T_{\pi} + T_{\pi}) p + 1);$
- 2) $(T_{\pi} T_{\pi} T_{\pi} p^3 + T_{\pi} (T_{\pi} + T_{\pi}) p^2 + (T_{\pi} + T_{\pi}) p + 1) \omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_{\pi} T_{\pi} p^2 + (T_{\pi} + T_{\pi}) p + 1);$
- 3) $(T_{\pi} T_{\pi} T_{\pi} p^3 + T_{\pi} (T_{\pi} + T_{\pi}) p^2 + T_{\pi} p + 1) \omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_{\pi} T_{\pi} p^2 + (T_{\pi} + T_{\pi}) p + 1);$
- 4) $(T_{\pi} T_{\pi} T_{\pi} p^3 + T_{\pi} (T_{\pi} + T_{\pi}) p^2 + (T_{\pi} + T_{\pi}) p + 1) \omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_{\pi} T_{\pi} p^2 + T_{\pi} p + 1).$

Задание 4

Уравнение разомкнутого и замкнутого по вектору состояния электропривода с модальным регулятором имеют вид:

$$(d_0 p^3 + d_1 p^2 + d_2 p + d_3) \omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (b_0 p^2 + b_1 p + b_2),$$

$$(D_0 p^3 + D_1 p^2 + D_2 p + D_3) \omega = k_0 u_3 - \frac{M_c}{\beta} (B_0 p^2 + B_1 p + B_2).$$

Параметры дифференциальных уравнений третьего порядка:

$$d_0 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ с}^3, \quad d_1 = 0,006 \text{ с}^2, \quad d_2 = 0,12 \text{ с}, \quad d_3 = 1, \quad b_0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}^2, \quad b_1 = 0,06 \text{ с}, \quad b_2 = 1.$$

$$D_0 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ с}^3, D_1 = d_1 + k_1 T_M, D_2 = d_2 + k_2, D_3 = 1 + k_3, B_0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}^2, B_1 = b_1 + k_1, B_2 = 1.$$

Нормированное уравнения для замкнутого по вектору состояния электропривода имеет вид:

$$S^3 + c_1 S^2 + c_2 S + 1 = 0,$$

где $c_1 = c_2 = 3$ для $\sigma = 0$, $\tau_{п.п.} = 6,3$.

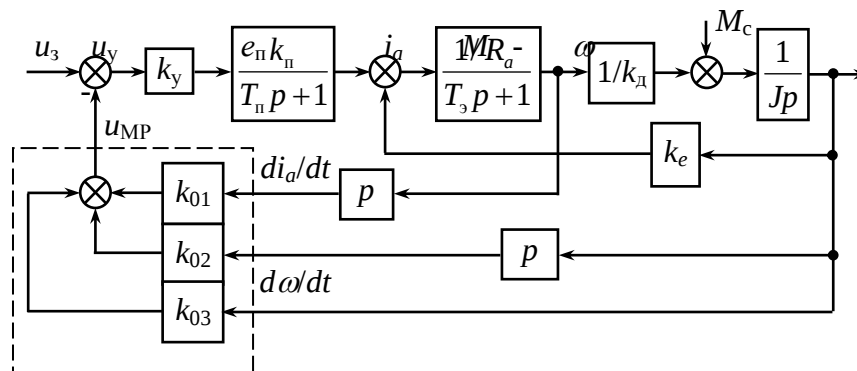
Необходимо обеспечить повышение жесткости механической характеристики в замкнутом по вектору состояния электроприводе в 10 раз. Определить соответствующие базовую частоту ω_6 , время переходного процесса $t_{п.п.}$ и коэффициенты усиления по контурам переменных состояния k_1, k_2, k_3 .

Варианты ответов:

- 1) $\omega_6 = 25 \text{ с}^{-1}$, $t_{п.п.} = 0,126 \text{ с}$, $k_1 = 0,6 \text{ с}$, $k_2 = 0,48 \text{ с}$, $k_3 = 5$;
- 2) $\omega_6 = 50 \text{ с}^{-1}$, $t_{п.п.} = 1,26 \text{ с}$, $k_1 = 0,6 \text{ с}$, $k_2 = 0,048 \text{ с}$, $k_3 = 4$;
- 3) $\omega_6 = 50 \text{ с}^{-1}$, $t_{п.п.} = 0,126 \text{ с}$, $k_1 = 0,06 \text{ с}$, $k_2 = 0,48 \text{ с}$, $k_3 = 9$;
- 4) $\omega_6 = 70 \text{ с}^{-1}$, $t_{п.п.} = 1,16 \text{ с}$, $k_1 = 0,6 \text{ с}$, $k_2 = 0,68 \text{ с}$, $k_3 = 8$;

Задание 5

Электропривод с модальным регулятором МР включает в свой состав инерционный управляемый преобразователь с коэффициентом усиления k_n и постоянной времени T_n , безынерционный усилитель с коэффициентом усиления k_y и двигатель, представленный апериодическим, интегрирующим звеньями и отрицательной обратной связью с коэффициентом противоЭДС $k_e = 1/k_d$.



Структурная схема электропривода постоянного тока с модальным регулятором

Управляемый преобразователь, усилитель и двигатель описываются системой уравнений

$$(T_n p + 1)e_n = k_n k_y u_y, \quad (T_s p + 1)i = \frac{1}{R_a} \left(e_n - \frac{1}{k_d} \omega \right), \quad J p \omega = M - M_c, \quad M = i / k_d.$$

Уравнение замыкания:

$$u_y = u_3 - \sum_{i=1}^3 k_{0i} x_i = u_3 - \left(k_{01} \frac{di}{dt} + k_{02} \frac{d\omega}{dt} + k_{03} \omega \right)$$

Получить уравнение для замкнутого по вектору состояния электропривода относительно выходной координаты ω .

Варианты ответов:

- 1) $(T_M T_s T_n p^3 - (T_M (T_s + T_n) + k_1 T_M) p^2 + (T_M + T_n - k_2) p + 1 + k_3) \omega = k_0 u - \frac{M_c}{\beta} (T_s T_n p^2 + (T_s + T_n + k_1) p + 1)$;
- 2) $(T_M T_s T_n p^3 + (T_M (T_s + T_n) - k_1 T_M) p^2 + (T_M + T_n + k_2) p + 1 - k_3) \omega = k_0 u - \frac{M_c}{\beta} (T_s T_n p^2 + (T_s + T_n + k_1) p + 1)$;

Передаточная функция разомкнутого контура при настройке на модульный оптимум:

$$W_{0\text{КТ}}(p) = W_{\text{опт}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}.$$

За T_{μ} для контура тока принять малую постоянная времени преобразователя T_{μ} .

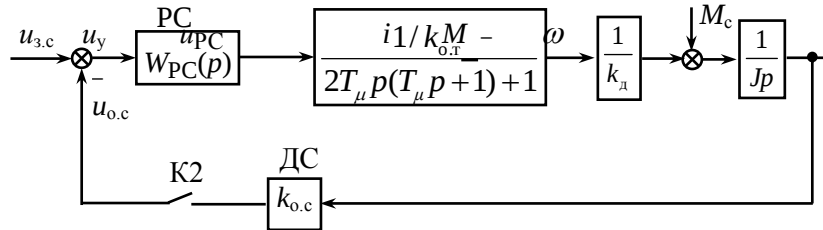
Необходимо получить выражения для передаточной функции разомкнутого контура тока и регулятора тока при настройке на модульный оптимум с учетом обратной связи по ЭДС двигателя.

Варианты ответов:

$$\begin{aligned} 1) \quad W_{0\text{КТ}}(p) &= W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\text{т}} T_{\text{М}} p}{T_{\text{п}} p (T_{\text{М}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{М}} p + 1)}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\text{М}} p + 1}{2T_{\text{п}} k_{\text{т}} T_{\text{М}} p^2}; \\ 2) \quad W_{0\text{КТ}}(p) &= W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\text{т}} T_{\text{М}} p}{(T_{\text{п}} p + 1)(T_{\text{М}} p + 1)}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\text{М}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{М}} p}{2T_{\text{п}} k_{\text{т}} T_{\text{М}} p^2}; \\ 3) \quad W_{0\text{КТ}}(p) &= W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\text{т}} T_{\text{М}} p}{(T_{\text{п}} p + 1)(T_{\text{М}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{М}} p + 1)}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\text{М}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{М}} p + 1}{2T_{\text{п}} k_{\text{т}} T_{\text{М}} p^2}; \\ 4) \quad W_{0\text{КТ}}(p) &= W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\text{т}} T_{\text{М}} p}{T_{\text{М}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{М}} p + 1}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\text{М}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{М}} p + 1}{2T_{\text{п}} T_{\text{М}} p^2}. \end{aligned}$$

Задание 8

Структурная схема электропривода с контуром скорости и оптимизированным по модулю замкнутым контуром тока представлена на рисунке.



Передаточная функция оптимизированного по модулю контура тока имеет вид:

$$W_{\text{опт}}(p) = \frac{1/k_{0,т}}{D_{\text{т}}(p)},$$

где $D_{\text{т}}(p) = 2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1) + 1$ – характеристический полином оптимизированного замкнутого контура тока.

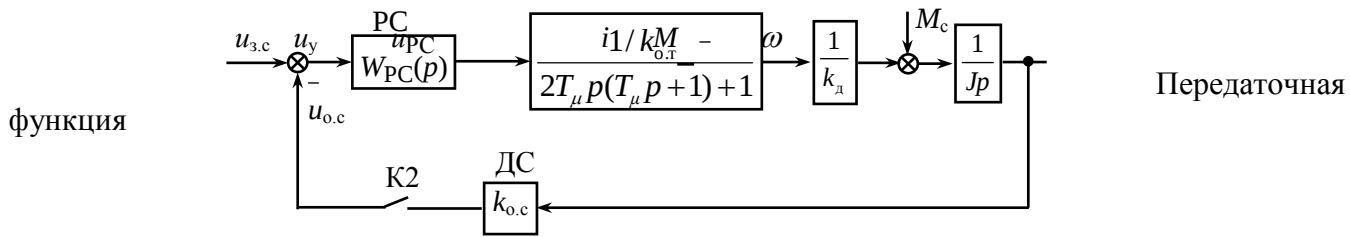
Желаемая передаточная функция при настройке контура скорости на модульный оптимум имеет вид:

$$W_{\text{жел}}(p) = \frac{1}{4T_{\mu}pD_{\text{т}}(p)},$$

где T_{μ} – малая некомпенсируемая постоянная времени.

Необходимо определить передаточную функцию разомкнутого, замкнутого контура скорости и регулятора скорости.

Варианты ответов:



оптимизированного по модулю контура тока имеет вид:

$$W_{\text{опт}}(p) = \frac{1/k_{o.t}}{D_t(p)},$$

где $D_t(p) = 2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1) + 1$ – характеристический полином оптимизированного замкнутого контура тока.

Желаемая передаточная функция при настройке контура скорости на симметричный оптимум имеет вид:

$$W_{\text{жел}}(p) = \frac{8T_{\mu}p + 1}{8 \cdot 4 \cdot T_{\mu}^2 p^2 D_t(p)}.$$

Необходимо определить в соответствии со схемой передаточную функцию разомкнутого, замкнутого контура скорости и регулятора скорости.

Варианты ответов:

- 1) $W_{0k.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1}{D_t(p)} \frac{k_{o.c}}{k_d J p}$, $W_{3.c}(p) = \frac{8T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}p[4T_{\mu}pD_t(p) + 1] + 1}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_{\mu}p}{8T_{\mu}p} \cdot \frac{k_{o.t}k_d J}{4T_{\mu}k_{o.c}}$;
- 2) $W_{0k.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1/k_{o.t}}{D_t(p)} \frac{k_{o.c}}{k_d J}$, $W_{3.c}(p) = \frac{8T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}p[4T_{\mu}pD_t(p) + 1]}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}p} \cdot \frac{k_{o.t}k_d J}{4T_{\mu}k_{o.c}}$;
- 3) $W_{0k.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1/k_{o.t}}{D_t(p)} \frac{k_{o.c}}{J p}$, $W_{3.c}(p) = \frac{8T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}p[4T_{\mu}pD_t(p)] + 1}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}p} \cdot \frac{k_d J}{4T_{\mu}k_{o.c}}$;
- 4) $W_{0k.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1/k_{o.t}}{D_t(p)} \frac{k_{o.c}}{k_d J p}$, $W_{3.c}(p) = \frac{(1/k_{o.t})(8T_{\mu}p + 1)}{8T_{\mu}p[4T_{\mu}pD_t(p) + 1] + 1}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}p} \cdot \frac{k_{o.t}k_d J}{4T_{\mu}k_{o.c}}$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задание № 1

Для замкнутой системы стабилизации скорости станка с ЧПУ с отдельными отсечками по скорости и току определить угловые скорости ω_1 , ω_2 двигателя M при номинальном моменте для двух значений задающего воздействия $U_{31} = 5$ В и $U_{31} = 10$ В.

Исходные данные для расчёта.

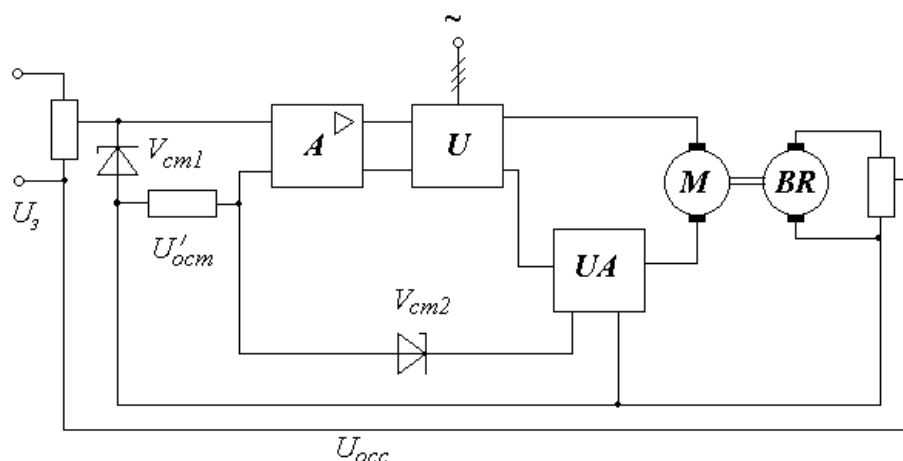
Двигатель ПБСТ-22; $P_n = 0,4$ кВт; $n_n = 1000$ об/мин; $\eta_n = 70,5$ %; $U_n = 220$ В; $I_{ян} = 2,58$ А.

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя и преобразователя $K_A = 10$, $K_{\Pi} = 23$;

датчиков скорости и тока $K_C = 0,096$ В·с/рад, $K_T = 2,08$ Ом;

напряжения пробоя стабилитронов: $U_{ст1} = 7$ В; $U_{ст2} = 8$ В.

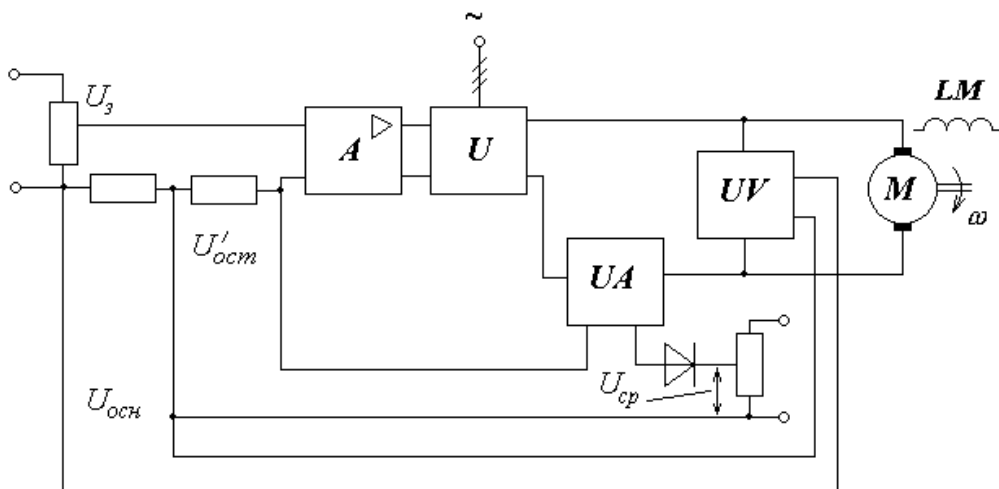


Варианты ответов:

- 1) $\omega_1 = 196,3$ рад/с; $\omega_2 = 143,7$ рад/с;
- 2) $\omega_1 = 76,8$ рад/с; $\omega_2 = 35,9$ рад/с;
- 3) $\omega_1 = 96,3$ рад/с; $\omega_2 = 43,7$ рад/с;
- 4) $\omega_1 = 91,5$ рад/с; $\omega_2 = 39,8$ рад/с.

Задание № 2

Для замкнутой системы электропривода крана в металлургическом цехе, функциональная схема которой приведена на рисунке, получить значения сигналов обратной связи по напряжению и по току при номинальном моменте для двух значений управляющего сигнала U_{31} , U_{32} .



Исходные данные для расчёта (связь по току отрицательная):

Двигатель ДП-42; $P_n = 23$ кВт; $n_n = 600$ об/мин; $\eta_n = 83,6$ %; $U_n = 220$ В; $I_{ян} = 125$ А.

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{П} = 23$;

датчика напряжения $K_H = 0,043$;

датчика тока $K_T = 0,07$ Ом;

напряжение сравнения $U_{cp} = 8$ В;

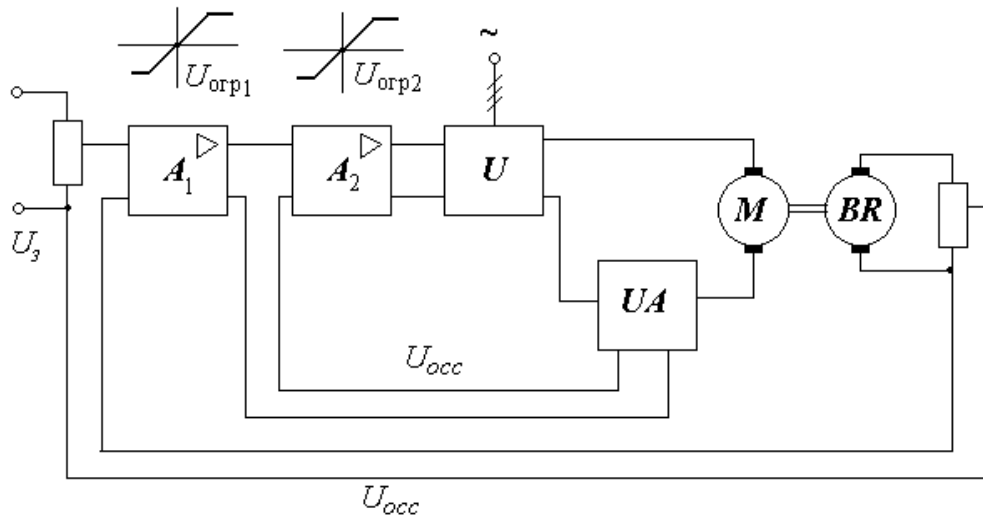
$U_{31} = 8$ В; $U_{32} = 10$ В.

Варианты ответов:

- 1) $U_{осн1} = 5,72$ В, $U'_{ост1} = 3,91$ В, $U_{осн1} = 7,53$ В, $U'_{ост1} = 2,24$ В;
- 2) $U_{осн1} = 3,79$ В, $U'_{ост1} = 2,81$ В, $U_{осн1} = 4,73$ В, $U'_{ост1} = 3,52$ В;
- 3) $U_{осн1} = 2,69$ В, $U'_{ост1} = 1,91$ В, $U_{осн1} = 3,76$ В, $U'_{ост1} = 3,22$ В;
- 4) $U_{осн1} = 6,73$ В, $U'_{ост1} = 5,85$ В, $U_{осн1} = 7,53$ В, $U'_{ост1} = 3,62$ В.

Задание № 3

Для системы стабилизации скорости станка с ЧПУ с отрицательной обратной связью по скорости и положительной по току определить выходные сигналы усилителей A_1 , A_2 при номинальном моменте для двух значений задающего сигнала.



Исходные данные для расчёта.

Двигатель ПБСТ-22; $P_H = 0,4$ кВт; $n_H = 1000$ об/мин; $\eta_H = 70,5\%$; $U_H = 220$ В; $I_{ЯH} = 2,58$ А.

Коэффициенты передачи:

суммирующих усилителей $K_{A1} = 5$; $K_{A2} = 0,8$; $U_{орп1} = 10$ В; $U_{орп2} = 8$ В;

преобразователя $K_{\Pi} = 23$;

датчика тока $K_T = 2,08 \text{ Ом}$;

датчика скорости $K_C = 0,096 \text{ В}\cdot\text{с/рад}$;

$$U_{31} = 10 \text{ B}; \dot{U}_{32} = 3 \text{ B}.$$

Варианты ответов:

- 1) $U_{A11} = 8,5 \text{ B}$, $U_{A12} = 2,82 \text{ B}$, $U_{A21} = 4,36 \text{ B}$, $U_{A22} = 1,63 \text{ B}$;
- 2) $U_{A11} = 9,6 \text{ B}$, $U_{A12} = 3,12 \text{ B}$, $U_{A21} = 6,32 \text{ B}$, $U_{A22} = 2,12 \text{ B}$;
- 3) $U_{A11} = 10 \text{ B}$, $U_{A12} = 3,02 \text{ B}$, $U_{A21} = 5,37 \text{ B}$, $U_{A22} = 1,61 \text{ B}$;
- 4) $U_{A11} = 6,2 \text{ B}$, $U_{A12} = 2,02 \text{ B}$, $U_{A21} = 4,07 \text{ B}$, $U_{A22} = 1,75 \text{ B}$.

Задание № 4

Для системы стабилизации скорости электропривода экскаватора с отрицательной обратной связью по напряжению и задержанной обратной связью по току определить в режиме стопорения напряжение сравнения в цепи обратной связи по току и значение коэффициента обратной связи по току.

Исходные данные для расчёта.

Двигатель ДП-42; $P_{\text{н}} = 23$ кВт; $n_{\text{н}} = 600$ об/мин; $\eta_{\text{н}} = 83,6$ %; $U_{\text{н}} = 220$ В; $I_{\text{ян}} = 125$ А.

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{\Pi} = 23$;

датчика напряжения $K_H = 0,043$;

напряжение задания $U_3 = 10 \text{ В}$;

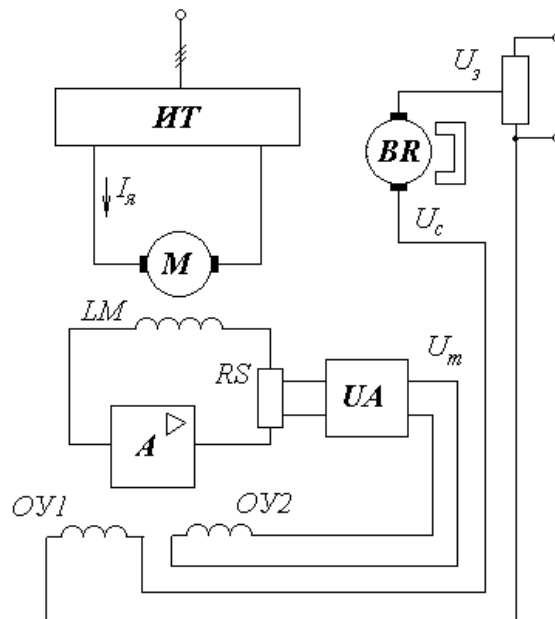
ток стопорения $I_{\text{ст}} = 280 \text{ A}$; $I_{\text{отс}} = 224 \text{ A}$.

Варианты ответов:

- 1) $U_{cp} = 9,6 \text{ В}, K_T = 0,72 \text{ Ом};$
- 2) $U_{cp} = 3,6 \text{ В}, K_T = 0,67 \text{ Ом};$
- 3) $U_{cp} = 14,6 \text{ В}, K_T = 0,87 \text{ Ом};$
- 4) $U_{cp} = 19,6 \text{ В}, K_T = 0,071 \text{ Ом}.$

Задание № 6

Для системы стабилизации скорости электропривода крана в металлургическом цехе, построенной по принципу ИТ-Д, определить значения сигналов обратной связи по скорости и по току для двух значений задающего сигнала.



Обратные связи: по скорости отрицательная, по току возбуждения положительная; параметры обмоток управления ОУ1 и ОУ2 одинаковы.

Исходные данные для расчёта.

Двигатель ДП-42; $P_n = 23$ кВт; $\eta_n = 83,6\%$; $U_n = 220$ В; $I_{ян} = 125$ А; $\omega_n = 62,8$ с⁻¹; $I_{вн} = 2,4$ А; $U_{вн} = 220$ В.

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя $K_A = 24$; датчика тока $K_T = 0,04$ Ом; датчика скорости $K_C = 0,15$ В·с/рад.

Напряжения задания $U_{з1} = 6$ В; $U_{з2} = 3$ В.

$$C = \frac{1}{\left(2\pi \frac{PN}{a}\right)}, \quad P = 4; N = 342 \text{ витка}; a = 1.$$

Варианты ответов:

- 1) $U_{c1} = 15,6$ В $U_{т1} = 8,52$ В, $U_{c2} = 8,83$ В, $U_{т2} = 4,27$ В;
- 2) $U_{c1} = 8,68$ В $U_{т1} = 7,83$ В, $U_{c2} = 4,32$ В, $U_{т2} = 3,96$ В;
- 3) $U_{c1} = 9,66$ В $U_{т1} = 6,58$ В, $U_{c2} = 4,33$ В, $U_{т2} = 3,25$ В;
- 4) $U_{c1} = 5,66$ В $U_{т1} = 5,58$ В, $U_{c2} = 2,83$ В, $U_{т2} = 2,29$ В.

Задание № 7

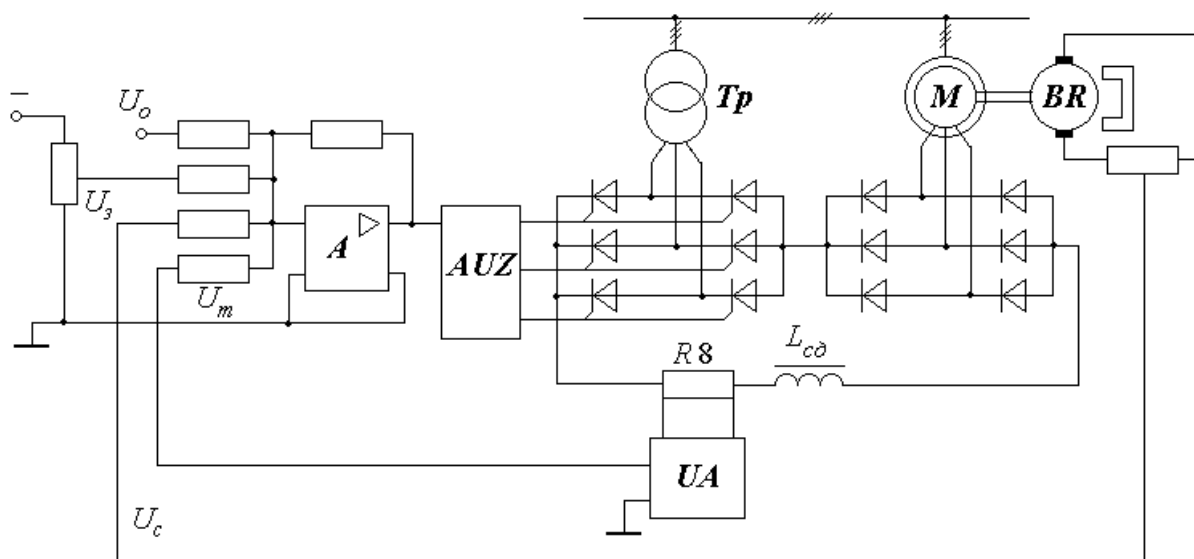
Для замкнутой системы с АВК регулирования скорости асинхронного двигателя крана определить в номинальном режиме значения сигналов обратной связи по скорости и по току для двух значений сигнала управления $U_{з1}$, $U_{з2}$.

Исходные данные для расчёта (связь по току положительная):

Двигатель МТ-73-10-42; $P_n = 125$ кВт; $U_n = 380$ В; $\omega_n = 61,3$ рад/с; $R_1 = 0,0151$ Ом; $X_1 = 0,0731$ Ом; $E_{рн} = 442$ В; $R_2 = 0,0337$ Ом; $X_2 = 0,098$ Ом; $X_{сд} = 0,01$ Ом; $R_{сд} = 0$; $I_{рн} = 175$ А; $U_0 = 10$ В.

Коэффициент обратной связи по скорости и току $K_C = 0,15$ В·с/рад, $K_T = 0,057$ Ом.

$K_A = 10$; $U_{з1} = 10$ В; $U_{з2} = 1$ В.

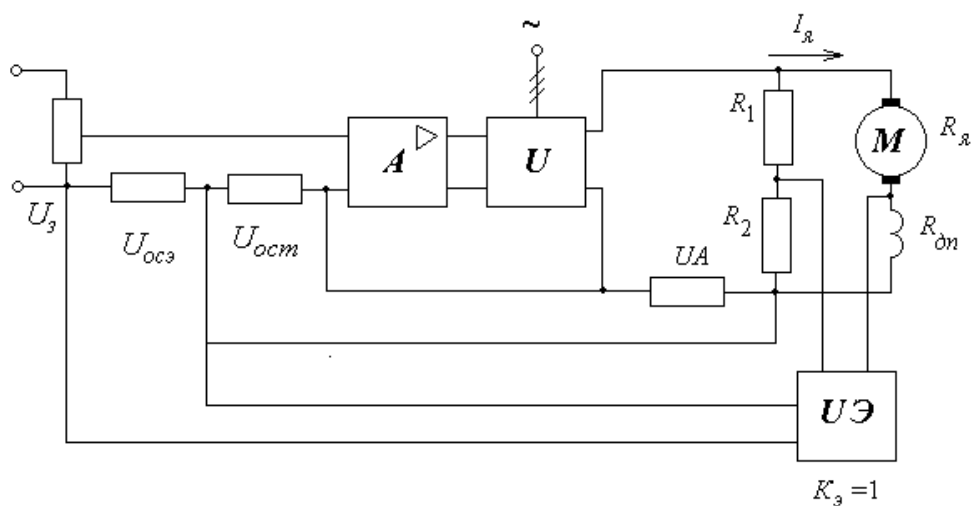


Варианты ответов:

- 1) $U_{c1} = 4,25 \text{ В}$, $U_{T1} = 8,58 \text{ В}$, $U_{c2} = 0,48 \text{ В}$, $U_{T2} = 0,82 \text{ В}$;
- 2) $U_{c1} = 6,08 \text{ В}$, $U_{T1} = 7,83 \text{ В}$, $U_{c2} = 0,68 \text{ В}$, $U_{T2} = 0,76 \text{ В}$;
- 3) $U_{c1} = 9,20 \text{ В}$, $U_{T1} = 9,98 \text{ В}$, $U_{c2} = 0,94 \text{ В}$, $U_{T2} = 1,02 \text{ В}$;
- 4) $U_{c1} = 7,82 \text{ В}$, $U_{T1} = 6,94 \text{ В}$, $U_{c2} = 0,74 \text{ В}$, $U_{T2} = 0,65 \text{ В}$.

Задание № 8

Для замкнутой системы стабилизации скорости прокатного стана с отрицательной обратной связью по ЭДС и положительной обратной связью по току определить значение коэффициентов передачи обратных связей K_{Σ} и K_T , чтобы статизм замкнутой системы при диапазоне регулирования $D = 100$ не превышал значения $\delta = 0,02$.



Исходные данные для расчёта.

Двигатель П111; $P_n = 100 \text{ кВт}$; $n_n = 1450 \text{ об/мин}$; $\eta_n = 90,5 \%$; $U_n = 220 \text{ В}$; $I_{ян} = 511 \text{ А}$.

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{\Pi} = 23$.

Сопротивление дополнительных полюсов $R_{дп} = 0,005 \text{ Ом}$.

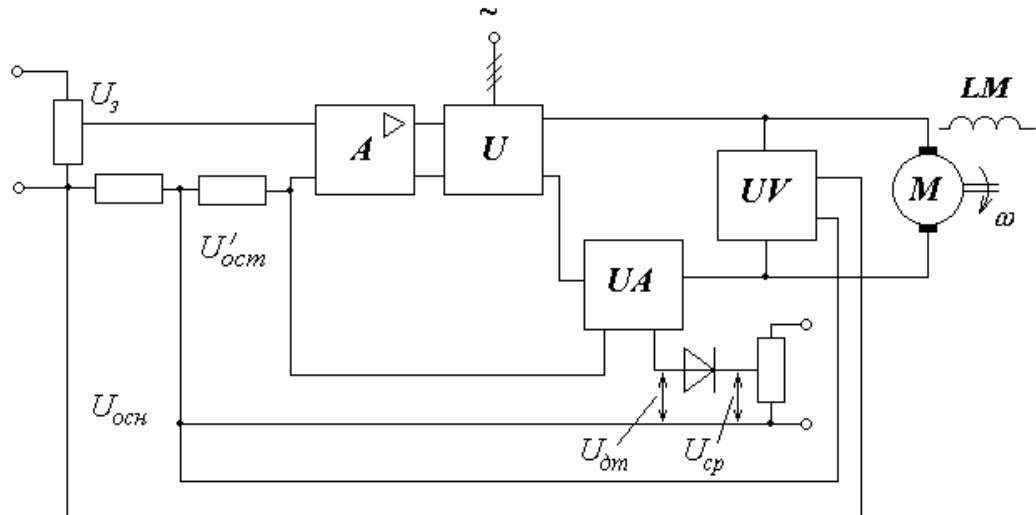
Напряжение задания $U_3 = 10 \text{ В}$.

Варианты ответов:

- 1) $K_T = 0,022 \text{ Ом}, K_{\Omega} = 0,0455$;
- 2) $K_T = 0,022 \text{ Ом}, K_{\Omega} = 0,0455$;
- 3) $K_T = 0,022 \text{ Ом}, K_{\Omega} = 0,0455$;
- 4) $K_T = 0,022 \text{ Ом}, K_{\Omega} = 0,0455$.

Задание № 9

Для замкнутой системы стабилизации скорости обкатного стана с отрицательной обратной связью по скорости и задержанной по току определить напряжение сравнения в цепи обратной связи по току и значение коэффициента передачи этой обратной связи.



Исходные данные для расчёта.

Двигатель П143-4К; $P_n = 200 \text{ кВт}$; $n_n = 400 \text{ об/мин}$; $\eta_n = 91,6 \%$; $U_n = 440 \text{ В}$; $I_{ян} = 497 \text{ А}$.

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{\Pi} = 46$;

датчика скорости $K_C = 0,24 \text{ В} \cdot \text{с/рад}$;

напряжение задания $U_3 = 8 \text{ В}$.

ток стопорения $I_{ст} = 994 \text{ А}$; $I_{отс} = 800 \text{ А}$.

Варианты ответов:

- 1) $U_{cp} = 9,6 \text{ В}, K_T = 0,076 \text{ Ом}$;
- 2) $U_{cp} = 19,8 \text{ В}, K_T = 0,0201 \text{ Ом}$;
- 3) $U_{cp} = 14,6 \text{ В}, K_T = 0,068 \text{ Ом}$;
- 4) $U_{cp} = 6,6 \text{ В}, K_T = 0,031 \text{ Ом}$.

Задание № 10

Для системы стабилизации скорости станка с ЧПУ с отрицательной обратной связью по скорости и положительной по току определить выходные сигналы усилителей A_1 , A_2 при номинальном моменте для двух значений задающего сигнала.

Исходные данные для расчёта.

Двигатель ПБСТ-32; $P_n = 1,5 \text{ кВт}$; $n_n = 2200 \text{ об/мин}$; $\eta_n = 79,5\%$; $U_n = 220 \text{ В}$; $I_{ян} = 8,6 \text{ А}$.

Коэффициенты передачи:

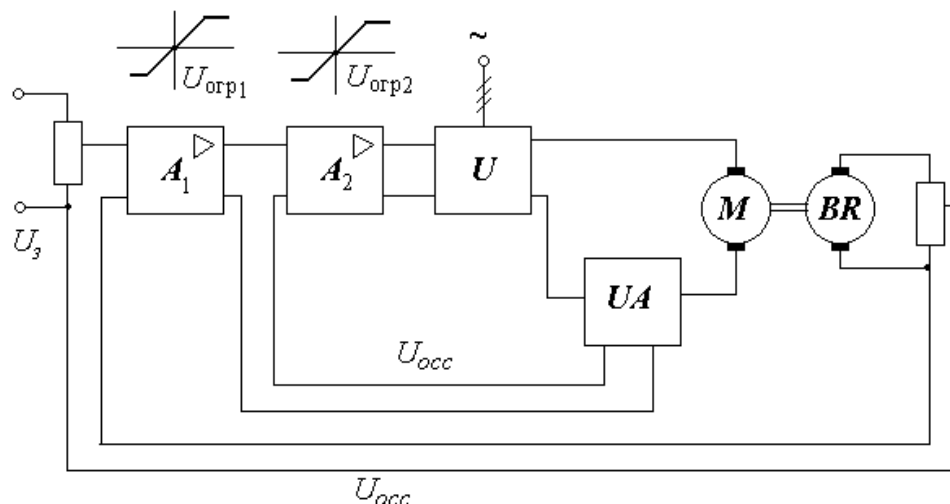
суммирующих усилителей $K_{A1} = 5$; $K_{A2} = 0,8$; $U_{орп1} = 10 \text{ В}$; $U_{орп2} = 8 \text{ В}$;

преобразователя $K_{\Pi} = 23$;

датчика тока $K_T = 1,16 \text{ Ом}$;

датчика скорости $K_C = 0,043 \text{ В} \cdot \text{с/рад}$;

$U_{31} = 10 \text{ В}$; $U_{32} = 5 \text{ В}$.



Варианты ответов:

- 1) $U_{A11} = 8,35 \text{ В}$, $U_{A12} = 4,12 \text{ В}$, $U_{A21} = 4,16 \text{ В}$, $U_{A22} = 2,03 \text{ В}$;
- 2) $U_{A11} = 10 \text{ В}$, $U_{A12} = 4,95 \text{ В}$, $U_{A21} = 5,17 \text{ В}$, $U_{A22} = 2,56 \text{ В}$;
- 3) $U_{A11} = 7,6 \text{ В}$, $U_{A12} = 3,82 \text{ В}$, $U_{A21} = 6,32 \text{ В}$, $U_{A22} = 3,17 \text{ В}$;
- 4) $U_{A11} = 6,2 \text{ В}$, $U_{A12} = 2,94 \text{ В}$, $U_{A21} = 4,57 \text{ В}$, $U_{A22} = 2,25 \text{ В}$.

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. Понятие о системах управления электроприводов.
2. Классификация систем управления электроприводов.
3. Виды функций принадлежности.
4. Нечеткие множества и логические операции над ними.
5. Порядок поиска решения в совокупности нечетких множеств.
6. Алгоритмы поиска решения.
7. Фаззи-управление.
8. Нечеткое управление исполнительным приводом.
9. Нечеткое моделирование в системе MATLAB.
10. Редактор систем нечеткого вывода.
11. Редактор функций принадлежности.
12. Редактор правил нечеткого вывода.
13. Общая характеристика модального управления.
14. Синтез модального регулятора методом стандартных уравнений.
15. Уравнения разомкнутого и замкнутого электропривода постоянного тока.
16. Пример синтеза модального регулятора.
17. Структура системы подчиненного регулирования.
18. Функциональная схема электропривода постоянного тока с подчиненным регулированием тока и скорости.
19. Структурная схема электропривода с подчиненным регулированием.
20. Синтез регулятора тока в электроприводе постоянного тока.
21. Синтез регулятора скорости в электроприводе постоянного тока.
22. Пример синтеза регуляторов тока и скорости в системе подчиненного

регулирования.

23. Функциональная схема электропривода с двухзонным регулированием скорости.

24. Структурная схема электропривода с двухзонным регулированием скорости.

25. Линеаризованная структурная схема электропривода с двухзонным регулированием скорости.

26. Синтез регулятора тока в электроприводе с двухзонным регулированием скорости.

27. Синтез регулятора ЭДС в электроприводе с двухзонным регулированием скорости.

28. Пример синтеза регуляторов тока и скорости в системе с двухзонным регулированием скорости.

29. Особенности систем с регулированием по отклонению.

30. Функциональная схема системы управления электроприводом с обратной связью по скорости.

31. Функциональная схема системы управления электроприводом с обратной связью по току.

32. Положительная обратная связь по току.

33. Варианты получения экскаваторной характеристики привода.

34. Функциональная схема системы управления электроприводом с отрицательной обратной связью по скорости и задержанной отрицательной обратной связью по току.

35. Система подчиненного регулирования с последовательным ограничением координаты тока.

36. Настройка контуров регулируемых переменных с помощью активных корректирующих устройств.

37. Передаточные функции замкнутого и разомкнутого контуров при настройке на модульный оптимум.

38. Настройка контуров регулирования тока якоря и скорости двигателя в однократно интегрирующей системе управления.

39. Передаточные функции замкнутого и разомкнутого контуров скорости электропривода при настройке на симметричный оптимум.

40. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика при различных видах настройки электропривода.

41. Принцип скалярного управления.

42. Разомкнутые системы управления асинхронного электропривода.

43. Замкнутые системы частотного управления.

44. Функциональная схема системы частотного управления АД с обратной связью по току статора.

45. Функциональная схема системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости.

46. Структурная схема системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости.

47. Функциональные схемы систем ПЧ – АД при питании от ИТ.

48. Функциональная схема замкнутой системы ПЧ–АД с частотно-токовым управлением.

49. Структурная схема системы ПЧ – АД с частотно-токовым управлением.
50. Общая характеристика позиционных и следящих электроприводов и их систем управления.
51. Структурная схема следящего электропривода.
52. Точностные показатели следящих электроприводов.
53. Тахограмма и структурная схема задающего устройства позиционного электропривода.
54. Следящий и позиционный электроприводы.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

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	Общая характеристика систем управления электроприводов	ПВК-4	Тест
2	Логические системы управления электроприводами на основе фаззи-логики	ОПК-3	Защита лабораторной работы
3	Системы модального управления электроприводами	ОПК-3, ПВК-4	Защита лабораторной работы, решение стандартных задач
4	Системы управления с подчиненным регулированием координат	ОПК-3, ПВК-3, ПВК-4	Защита лабораторной работы, решение стандартных задач
5	Системы управления скоростью электроприводов постоянного тока	ОПК-3, ПВК-3, ПВК-4	Защита лабораторных работ, решение прикладных задач
6	Системы управления скоростью электроприводов переменного тока	ОПК-3, ПВК-4	Решение прикладных задач
7	Системы управления положением электроприводов	ОПК-3, ПВК-4	Тест

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

Тестирование осуществляется 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 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 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. Анучин А.С. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ А.С. Анучин – Электрон. текстовые данные. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33232.html>. – ЭБС «IPRbooks».

2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М: Издательский центр “Академия”, 2006. – 304 с.

3. Греков Э.Л. Исследование системы автоматического управления электроприводом постоянного тока [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э.Л. Греков, В.Б. Фатеев. – Электрон. текстовые данные. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2011. – 108 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30057.html>. – ЭБС «IPRbooks».

4. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр “Академия”, 2004. – 576 с.

При подготовке к практическим занятиям и выполнении курсовой работы следует использовать учебные пособия и учебник:

1. Романов А.В. Элементы расчета систем управления электроприводом: практикум: учеб. пособие / А.В. Романов. – Воронеж: ВГТУ, 2011. – 153 с.

2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для вузов / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр “Академия”, 2006. – 272 с.

При подготовке, выполнении и сдаче лабораторных работ следует использовать методические указания и лабораторные практикумы:

1. Медведев В.А. Методические указания к лабораторным работам № 1, 2 по дисциплине “Основы систем управления электроприводами” для студентов направления 140400.62 “Электроэнергетика и электротехника” (профиль

“Электропривод и автоматика”) очной формы обучения / В.А. Медведев. – Воронеж: ВГТУ, 2014. – 29 с.

2. Медведев В.А. Методические указания к лабораторным работам № 3, 4 по дисциплине “Основы систем управления электроприводами” для студентов направления 140400.62 “Электроэнергетика и электротехника” (профиль “Электропривод и автоматика”) очной формы обучения / В.А. Медведев. – Воронеж: ВГТУ, 2014. – 30 с.

3. Медведев В.А. Системы управления электроприводами: лабораторный практикум: учеб. пособие / В.А. Медведев, В.А. Трубецкой. Воронеж: ВГТУ, 2017. – 101 с.

4. Медведев В.А. Системы автоматического управления электроприводами: лабораторный практикум: учеб. пособие / В.А. Медведев, А.В. Романов. Воронеж: ВГТУ, 2017. – 100 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;
- Opera;
- 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

- Национальная электронная библиотека. URL: elibrary.ru
- Electrical 4U. Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник». Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>
- 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>
- Netelectro. Новости электротехники, оборудование и средства

автоматизации. Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления. Адрес ресурса: <https://netelectro.ru/>

– 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/>

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

– Единый портал инноваций и уникальных изобретений. Адрес ресурса: <http://innovationportal.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

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

2. **Специализированная учебная лаборатория** для проведения лабораторного практикума.

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

По дисциплине «Основы систем управления электроприводами» проводятся лекции, 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 управления электроприводами постоянного и переменного тока. 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; 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.
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 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 экзаменом, экзаменом 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
1	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	30.08.2017	
2	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	30.08.2018	
3	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
4	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	

