

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

«31» августа 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Системы автоматического управления электроприводами»

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроприводы и системы управления электроприводов

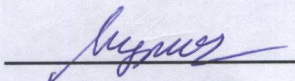
Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

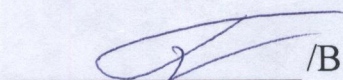
Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

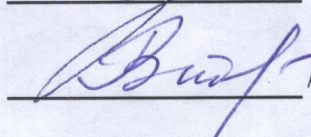
Автор программы

 /П.В. Мурзинов/

Заведующий кафедрой
Электропривода,
автоматики и управления в
технических системах

 /В.Л. Бурковский/

Руководитель ОПОП

 /В.М. Питолин/

Воронеж 2021

1. 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 разработки проектных решений отдельных частей системы электропривода, всей системы электропривода и отдельных частей автоматизированной системы управления технологическими процессами, осуществления предпроектного обследования технологического процесса, для которого разрабатывается автоматизированная система управления, и оборудования, для которого разрабатывается проект системы электропривода.

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;
- освоение принципов построения, способов и технических средств реализации систем управления скоростью и положением электроприводов постоянного и переменного тока;
- освоение теоретических основ построения цифровых систем управления электроприводами, их расчетных моделей с учетом квантования и методики синтеза цифрового контура регулирования;
- изучение особенностей управления синхронным двигателем в схеме вентильного двигателя, функционирования основных узлов системы управления и структуры двухконтурного электропривода с вентильным двигателем;
- освоение принципа векторного управления и методики синтеза системы векторного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода;
- 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 «Системы автоматического управления электроприводами» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

УК-1 - Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий

УК-2 - Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла

ПК-1 - Способен разрабатывать проекты системы электропривода

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-1	знать: последовательность сбора материалов для проектирования автоматизированной системы управления;
	уметь: проводить анализ материалов для проектирования и формирование документации;
	владеть: навыками системного подхода к обследованию оборудования технологических процессов, для которых разрабатываются автоматизированные системы управления.
УК-2	знать: состав автоматизированной системы управления технологическими процессами;
	уметь: разрабатывать проектные решения по системам управления электроприводами, являющимися частью автоматизированной системы управления технологическими процессами;
	владеть: навыками моделирования элементов автоматизированной системы управления технологическими процессами.
ПК-1	Знать: тематику выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по комплексной автоматизации на базе микропроцессорных систем;
	Уметь: проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по комплексной автоматизации на базе микропроцессорных систем;
	Владеть: навыками выполнения теоретического и экспериментального исследования микропроцессорных систем комплексной автоматизации.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Системы автоматического управления электроприводами» составляет 6 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа	144	144
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
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	Общая характеристика систем управления электроприводов	Понятие о системах управления электроприводов. Классификация систем управления электроприводов. Показатели качества управления электроприводов.	4	2	24	30
2	Логические системы управления электроприводами на основе фаз-зи-логики	Функции принадлежности и нечеткие множества. Алгоритмы поиска решения в совокупности нечетких множеств. Нечеткое управление.	4	2	24	30
3	Системы модального управления электроприводами	Общая характеристика модального управления. Электропривод с модальным управлением. Синтез модального регулятора методом стандартных уравнений.	4	2	24	30
4	Системы управления с подчиненным регулированием координат	Функциональная и структурная схемы электропривода с подчиненным регулированием тока и скорости. Синтез регуляторов скорости и тока.	2	4	24	30
5	Системы управления скоростью электроприводов постоянного тока	Однократно и двукратно интегрирующая система управления скоростью электропривода постоянного тока с подчиненным контуром тока.	2	4	24	30
6	Системы управления скоростью электроприводов переменного тока	Разомкнутые системы управления асинхронного электропривода. Замкнутые системы частотного управления. Системы частотно-токового управления.	2	4	24	30
Итого			18	18	144	180

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 предусматривает выполнение курсового проекта в 3 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Разработка системы управления электроприводом постоянного тока»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- энергетический расчет электропривода;
- разработка управляемого источника питания и силовой цепи электропривода;
- выбор элементов цепи обратной связи по току;
- выбор элементов цепи обратной связи по скорости;
- расчет настроек контура тока;
- расчет настроек контура скорости;
- выбор структуры и расчет параметров регуляторов тока и скорости;
- моделирование системы управления электроприводом постоянного тока в среде MATLAB;
- аппаратная реализация регуляторов тока и скорости электропривода постоянного тока.

Курсовой проект включают в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

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
УК-1	знать: последовательность сбора материалов для проектирования автоматизированной системы управления;	Полнота знания правил проектирования системы электропривода, типовых проектных решений системы электропривода, системы автоматизированного проектирования	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: проводить анализ материалов для проектирования и формирование	Степень самостоятельности применения системы автоматизированного проектирования для разработки	Выполнение работ в срок, предусмотренный в	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в

	документации;	графических частей отдельных разделов проекта на различных стадиях проектирования системы электропривода	рабочих программах	рабочих программах
	владеть: навыками системного подхода к обследованию оборудования технологических процессов, для которых разрабатываются автоматизированные системы управления.	Высокая адаптивность навыков сбора информации по существующим техническим решениям системы электропривода, выбора оборудования для отдельных разделов проекта на различных стадиях проектирования системы электропривода	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
УК-2	знать: состав автоматизированной системы управления технологическими процессами;	Полнота знания состава автоматизированной системы управления технологическими процессами	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: разрабатывать проектные решения по системам управления электроприводами, являющимися частью автоматизированной системы управления технологическими процессами;	Осознанность выполнения действий по разработке проектных решений системам управления электроприводами, являющихся частью автоматизированной системы управления технологическими процессами	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: навыками моделирования элементов автоматизированной системы управления технологическими процессами.	Высокий уровень самостоятельности навыков моделирования элементов автоматизированной системы управления технологическими процессами	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-1	Знать: тематику выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по комплексной автоматизации на базе микропроцессорных систем;	Системность знания последовательности сбора материалов для проектирования автоматизированной системы управления	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по комплексной автоматизации на базе микропроцессорных систем;	Степень самостоятельности проведения анализа материалов для проектирования и формирования документации	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: навыками выполнения теоретического и экспериментального исследования микропроцессорных систем комплексной автоматизации.	Высокая адаптивность навыков предпроектного обследования оборудования технологических процессов, для которых разрабатываются автоматизированные системы управления	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 3 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;
«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
УК-1	знать: последовательность сбора материалов для проектирования автоматизированной системы управления;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: проводить анализ материалов для проектирования и формирование документации;	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 системного подхода к обследованию оборудования технологических процессов, для которых разрабатываются автоматизированные системы управления.	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
УК-2	знать: состав автоматизированной системы управления технологическими процессами;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: разрабатывать проектные решения по системам управления электроприводами, являющимися частью автоматизированной системы управления технологическими процессами;	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 моделирования элементов автоматизированной системы управления технологическими процессами.	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-1	Знать: тематику выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по комплексной автоматизации на базе микропроцессорных систем;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь: проводить научно-	Решение стандартных	Задачи решены в	Продемонстрирован верный	Продемонстрирован верный	Задачи не решены

	исследовательские и опытно-конструкторские разработки по комплексной автоматизации на базе микропроцессорных систем;	практических задач	полном объеме и получены верные ответы	ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	ход решения в большинстве задач	
	Владеть: навыками выполнения теоретического и экспериментального исследования микропроцессорных систем комплексной автоматизации.	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.

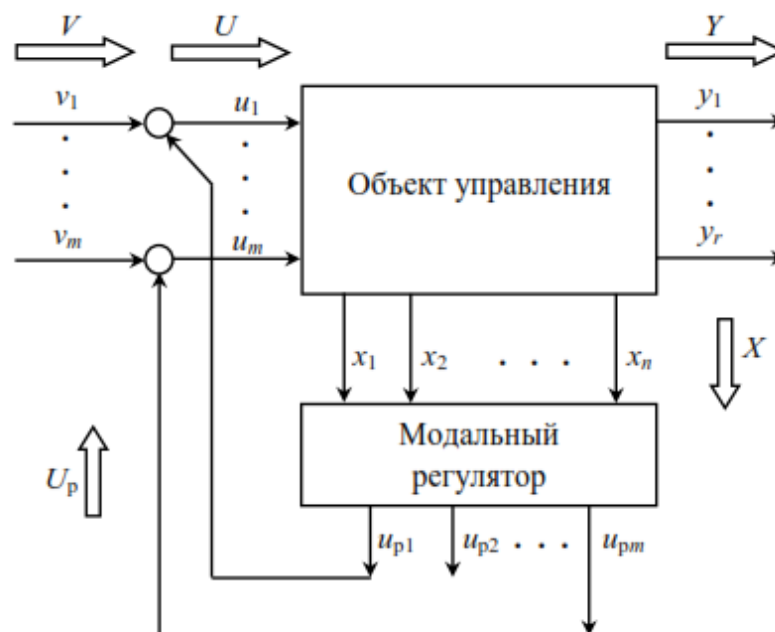
Какие действия не относятся к трудовым функциям при предпроектном обследовании оборудования:

- 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 $U_p(r) = \{u_{p1}, u_{p2}, \dots, u_{pm}\}^T$. 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 в форме Коши:

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

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

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:

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

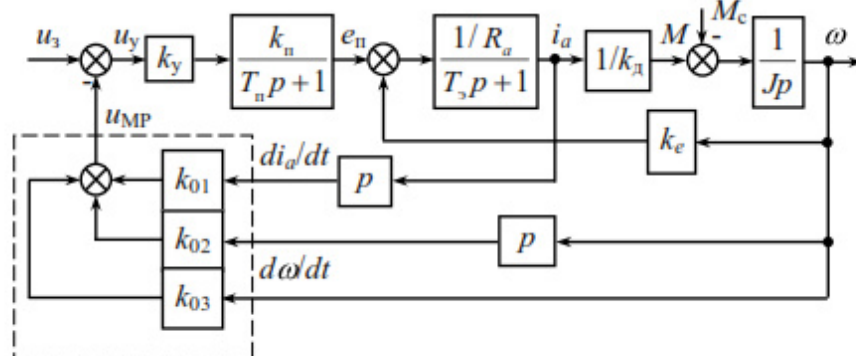
Для синтеза модального регулятора методом стандартных уравнений необходимо получить нормированную форму исходного уравнения.

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_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

Управляемый преобразователь, усилитель и двигатель описываются исходной системой уравнений

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

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

Варианты ответов:

$$1) (T_m T_s T_n p^3 + T_m T_s p^2 + (T_m + T_n)p + 1)\omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_s T_n p^2 + (T_s + T_n)p + 1);$$

$$2) (T_m T_s T_n p^3 + T_m (T_s + T_n)p^2 + (T_m + T_n)p + 1)\omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_s T_n p^2 + (T_s + T_n)p + 1);$$

$$3) (T_m T_s T_n p^3 + T_m (T_s + T_n)p^2 + T_m p + 1)\omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_s T_n p^2 + (T_s + T_n)p + 1);$$

$$4) (T_m T_s T_n p^3 + T_m (T_s + T_n)p^2 + (T_m + T_n)p + 1)\omega = k_0 u_y - \frac{M_c}{\beta} (T_s T_n p^2 + T_n p + 1).$$

Задание 4

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

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

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

Параметры дифференциальных уравнений третьего порядка:

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

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

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_b , время переходного процесса $t_{п.п.}$ и коэффициенты усиления по контурам переменных состояния k_1, k_2, k_3 .

Варианты ответов:

$$1) \omega_b = 25 \text{ с}^{-1}, \quad t_{п.п.} = 0,126 \text{ с}, \quad k_1 = 0,6 \text{ с}, \quad k_2 = 0,48 \text{ с}, \quad k_3 = 5;$$

$$2) \omega_b = 50 \text{ с}^{-1}, \quad t_{п.п.} = 1,26 \text{ с}, \quad k_1 = 0,6 \text{ с}, \quad k_2 = 0,048 \text{ с}, \quad k_3 = 4;$$

$$3) \omega_b = 50 \text{ с}^{-1}, \quad t_{п.п.} = 0,126 \text{ с}, \quad k_1 = 0,06 \text{ с}, \quad k_2 = 0,48 \text{ с}, \quad k_3 = 9;$$

$$4) \omega_b = 70 \text{ с}^{-1}, \quad t_{п.п.} = 1,16 \text{ с}, \quad k_1 = 0,6 \text{ с}, \quad k_2 = 0,68 \text{ с}, \quad k_3 = 8;$$

Задание 5

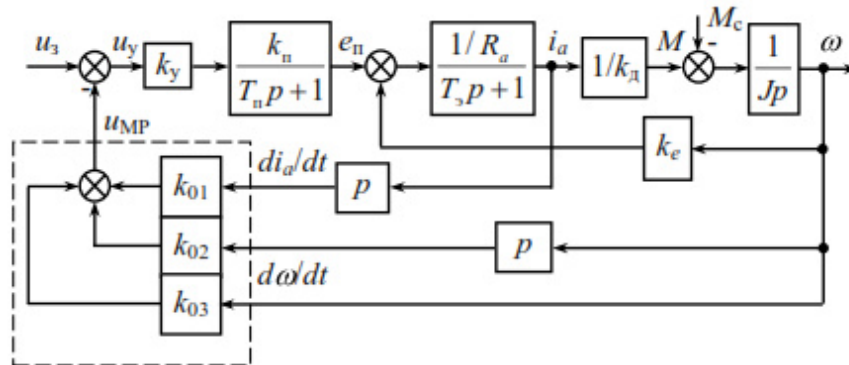
Электропривод с модальным регулятором МР включает в свой состав инерционный управляемый преобразователь с коэффициентом усиления k_n и постоянной времени T_n , безынерционный усилитель с коэффициентом усиления k_y и двигатель, представленный апериодическим, интегрирующим звеньями и отрицательной обратной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

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:

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



Структурная схема электропривода постоянного тока с модальным регулятором

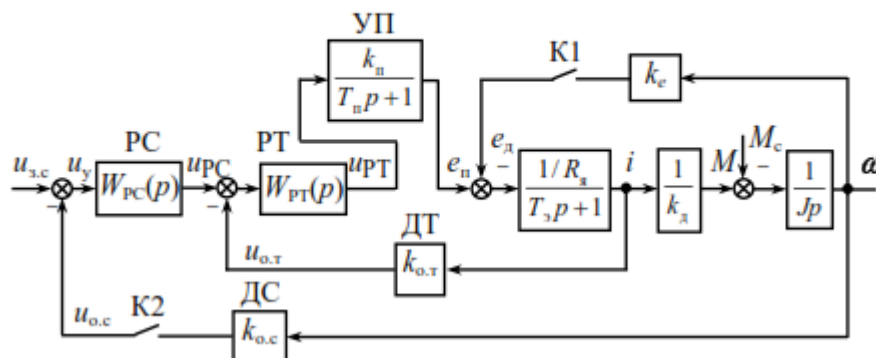
Получить уравнение для замкнутого по вектору состояния электропривода относительно выходной координаты ω .

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

Задание 6

Структурная схема электропривода с подчиненным регулированием тока и скорости представлена на рисунке.



Передаточная функция разомкнутого контура при настройке на модульный оптимум имеет вид:

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

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

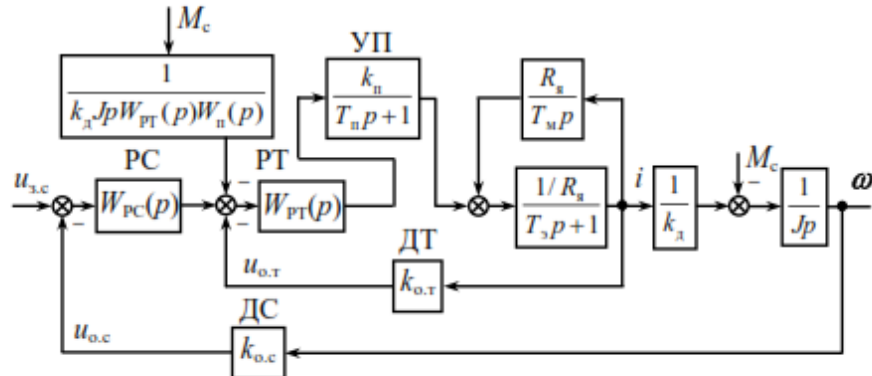
Необходимо получить выражения для передаточной функции разомкнутого контура тока и регулятора тока при настройке на модульный оптимум без учета обратной связи по ЭДС двигателя (ключ К1 разомкнут).

Варианты ответов:

- 1) $W_{\text{окт}}(p) = W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\tau}}{T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\mu}p}{k_{\tau}2T_{\mu}p};$
- 2) $W_{\text{окт}}(p) = W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\tau}}{(T_{\mu}p + 1)(T_{\mu}p + 1)}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\mu}p + 1}{k_{\tau}2T_{\mu}p};$
- 3) $W_{\text{окт}}(p) = W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\tau}}{(T_{\mu}p + 1)T_{\mu}p}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\mu}p + 1}{2T_{\mu}p};$
- 4) $W_{\text{окт}}(p) = W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\tau}}{(T_{\mu}p + 1)}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\mu}p + 1}{k_{\tau}2T_{\mu}p}.$

Задание 7

Каскадная схема электропривода с подчиненным регулированием тока и скорости на на рисунке.



Передаточная функция разомкнутого контура при настройке на модульный оптимум:

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

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.

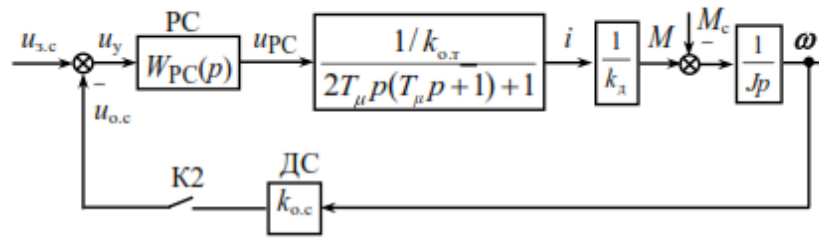
Варианты ответов:

- 1) $W_{\text{окт}}(p) = W_{\text{РТ}}(p) \frac{k_{\tau}T_{\mu}p}{T_{\mu}p(T_{\mu}T_{\mu}p^2 + T_{\mu}p + 1)}, \quad W_{\text{РТ}}(p) = \frac{T_{\mu}p + 1}{2T_{\mu}k_{\tau}T_{\mu}p^2};$

$$\begin{aligned}
2) \quad W_{0_{\kappa\tau}}(p) &= W_{\text{PT}}(p) \frac{k_{\tau} T_{\text{M}} p}{(T_{\text{п}} p + 1)(T_{\text{M}} p + 1)}, \quad W_{\text{PT}}(p) = \frac{T_{\text{M}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{M}} p}{2 T_{\text{п}} k_{\tau} T_{\text{M}} p^2}; \\
3) \quad W_{0_{\kappa\tau}}(p) &= W_{\text{PT}}(p) \frac{k_{\tau} T_{\text{M}} p}{(T_{\text{п}} p + 1)(T_{\text{M}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{M}} p + 1)}, \quad W_{\text{PT}}(p) = \frac{T_{\text{M}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{M}} p + 1}{2 T_{\text{п}} k_{\tau} T_{\text{M}} p^2}; \\
4) \quad W_{0_{\kappa\tau}}(p) &= W_{\text{PT}}(p) \frac{k_{\tau} T_{\text{M}} p}{T_{\text{M}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{M}} p + 1}, \quad W_{\text{PT}}(p) = \frac{T_{\text{M}} T_{\text{э}} p^2 + T_{\text{M}} p + 1}{2 T_{\text{п}} T_{\text{M}} p^2}.
\end{aligned}$$

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:

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

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

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

$$W_{0_{\text{жел}}}(p) = \frac{1}{4T_{\mu}pD_{\tau}(p)},$$

где T_{μ} – малая некомпенсируемая постоянная времени.

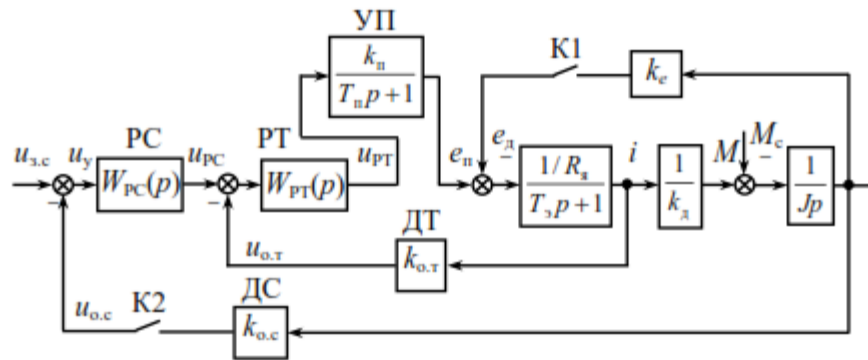
Необходимо определить передаточную функцию разомкнутого, замкнутого контура скорости и регулятора скорости.

Варианты ответов:

$$\begin{aligned}
1) \quad W_{0_{\kappa\tau}}(p) &= W_{\text{PC}}(p) \frac{1}{D_{\tau}(p)} \frac{k_{о.с}}{k_{\mu} J p}, \quad W_{\text{з.с}}(p) = \frac{1/k_{о.с}}{4T_{\mu}pD_{\tau}(p)}, \quad W_{\text{PC}}(p) = \frac{k_{о.т} k_{\mu} J p}{4T_{\mu} k_{о.с}}; \\
2) \quad W_{0_{\kappa\tau}}(p) &= W_{\text{PC}}(p) \frac{1/k_{о.т}}{D_{\tau}(p)} \frac{k_{о.с}}{k_{\mu} J p}, \quad W_{\text{з.с}}(p) = \frac{1/k_{о.с}}{4T_{\mu}pD_{\tau}(p) + 1}, \quad W_{\text{PC}}(p) = \frac{k_{о.т} k_{\mu} J}{4T_{\mu} k_{о.с}}; \\
3) \quad W_{0_{\kappa\tau}}(p) &= W_{\text{PC}}(p) \frac{1/k_{о.т}}{D_{\tau}(p)} \frac{k_{о.с}}{k_{\mu} J}, \quad W_{\text{з.с}}(p) = \frac{1}{4T_{\mu}pD_{\tau}(p) + 1}, \quad W_{\text{PC}}(p) = \frac{k_{о.т} k_{\mu} J}{4T_{\mu}}; \\
4) \quad W_{0_{\kappa\tau}}(p) &= W_{\text{PC}}(p) \frac{1/k_{о.т}}{D_{\tau}(p)} \frac{k_{о.с}}{J p}, \quad W_{\text{з.с}}(p) = \frac{1}{4T_{\mu}pD_{\tau}(p) + 1}, \quad W_{\text{PC}}(p) = \frac{k_{\mu} J}{4T_{\mu} k_{о.с}}.
\end{aligned}$$

Задание 9

Структурная схема электропривода с подчиненным регулированием тока и скорости представлена на рисунке.



Передаточные функции регуляторов тока и скорости определяются из выражений:

$$W_{PT}(p) = (T_{к1}p + 1)/T_{01}p, \quad W_{PC}(p) = (T_{к2}p + 1)/T_{02}p.$$

Исходные данные:

передаточный коэффициент и момент инерции двигателя $k_d = 0,83$ рад/(В·с), $J = 0,05$ кг·м²;

сопротивление и электромагнитная постоянная времени якорной цепи $R_a = 1,8$ Ом, $T_s = 0,022$ с;

коэффициенты обратной связи по току и скорости: $k_{о.т} = 0,16$ Ом, $k_{о.с} = 0,032$ В·с/рад.

коэффициент усиления и постоянная времени преобразователя $k_n = 25$, $T_n = 0,01$ с.

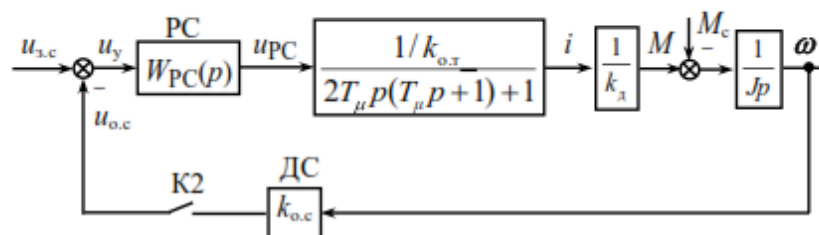
Необходимо определить параметры пропорционально-интегральных регуляторов тока и скорости без учета влияния ЭДС двигателя (ключ K1 разомкнут).

Варианты ответов:

- 1) $T_{к1} = 0,022$ с, $T_{01} = 0,044$ с, $T_{к2} = 0,08$ с, $T_{02} = 0,0154$ с;
- 2) $T_{к1} = 0,22$ с, $T_{01} = 0,044$ с, $T_{к2} = 0,008$ с, $T_{02} = 0,054$ с;
- 3) $T_{к1} = 0,042$ с, $T_{01} = 0,084$ с, $T_{к2} = 0,06$ с, $T_{02} = 0,154$ с;
- 4) $T_{к1} = 0,068$ с, $T_{01} = 0,06$ с, $T_{к2} = 0,88$ с, $T_{02} = 0,014$ с.

Задание 10

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:

$$W_{опт}(p) = \frac{1/k_{о.т}}{D_{\tau}(p)},$$

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

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

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

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

Варианты ответов:

- 1) $W_{0\kappa.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1}{D_T(p)} \frac{k_{o.c}}{k_d J p}$, $W_{з.с}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{8T_\mu p [4T_\mu p D_T(p) + 1] + 1}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_\mu p}{8T_\mu p} \cdot \frac{k_{o.т} k_d J}{4T_\mu k_{o.c}}$;
- 2) $W_{0\kappa.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1/k_{o.т}}{D_T(p)} \frac{k_{o.c}}{k_d J}$, $W_{з.с}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{8T_\mu p [4T_\mu p D_T(p) + 1]}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{8T_\mu p} \cdot \frac{k_{o.т} k_d}{4T_\mu k_{o.c}}$;
- 3) $W_{0\kappa.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1/k_{o.т}}{D_T(p)} \frac{k_{o.c}}{J p}$, $W_{з.с}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{8T_\mu p [4T_\mu p D_T(p)] + 1}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{8T_\mu p} \cdot \frac{k_d J}{4T_\mu k_{o.c}}$;
- 4) $W_{0\kappa.c}(p) = W_{PC}(p) \frac{1/k_{o.т}}{D_T(p)} \frac{k_{o.c}}{k_d J p}$, $W_{з.с}(p) = \frac{(1/k_{o.c})(8T_\mu p + 1)}{8T_\mu p [4T_\mu p D_T(p) + 1] + 1}$, $W_{PC}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{8T_\mu p} \cdot \frac{k_{o.т} k_d J}{4T_\mu k_{o.c}}$.

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 $U_{з1} = 5$ В и $U_{з1} = 10$ В.

Исходные данные для расчёта.

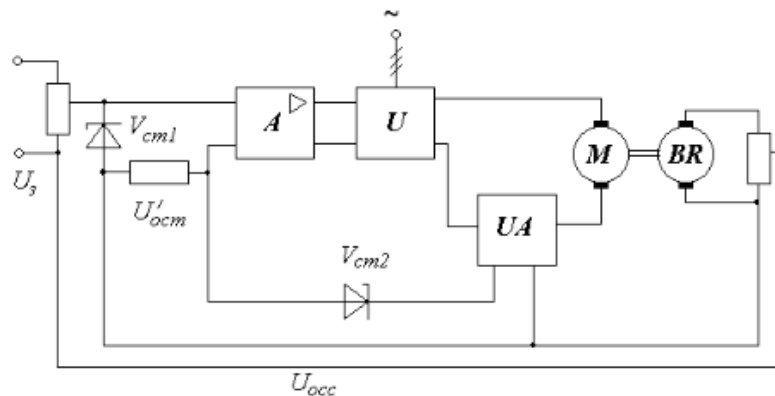
Двигатель ПБСТ-22; $P_n = 0,4$ кВт; $n_n = 1000$ об/мин; $\eta_n = 70,5$ %; $U_n = 220$ В; $I_{нн} = 2,58$ А.

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя и преобразователя $K_A = 10$, $K_P = 23$;

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 $U_{з1}$, $U_{з2}$.

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 $K_A = 10$;

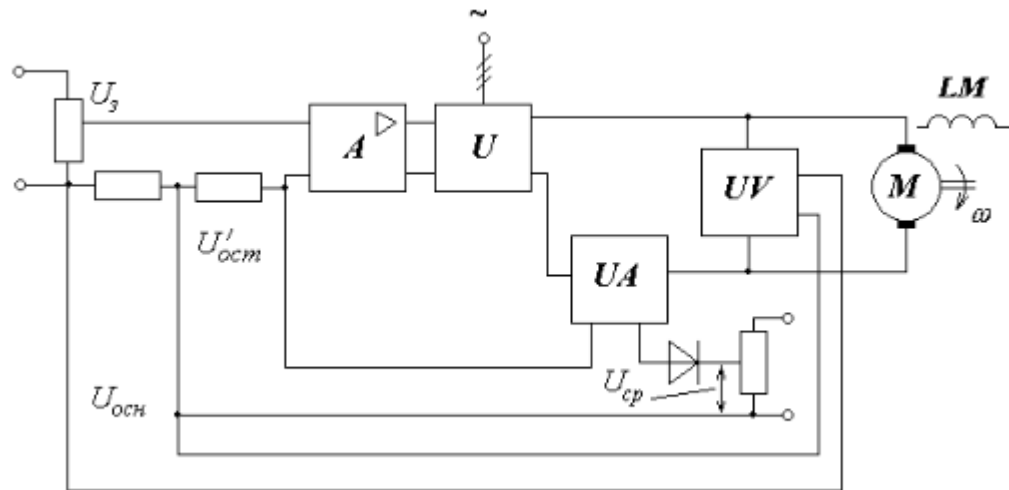
преобразователя $K_{П} = 23$;

датчика напряжения $K_H = 0,043$;

датчика тока $K_T = 0,07$ Ом;

напряжение сравнения $U_{cp} = 8$ В;

$U_{z1} = 8$ В; $U_{z2} = 10$ В.

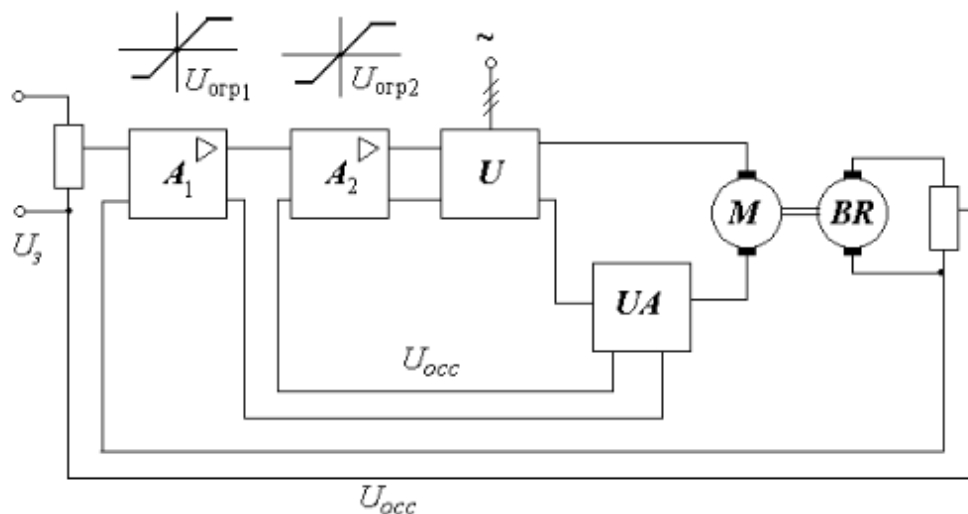


Варианты ответов:

- 1) $U_{осн1} = 5,72$ В, $U'_{осн1} = 3,91$ В, $U_{осн1} = 7,53$ В, $U'_{осн1} = 2,24$ В;
- 2) $U_{осн1} = 3,79$ В, $U'_{осн1} = 2,81$ В, $U_{осн1} = 4,73$ В, $U'_{осн1} = 3,52$ В;
- 3) $U_{осн1} = 2,69$ В, $U'_{осн1} = 1,91$ В, $U_{осн1} = 3,76$ В, $U'_{осн1} = 3,22$ В;
- 4) $U_{осн1} = 6,73$ В, $U'_{осн1} = 5,85$ В, $U_{осн1} = 7,53$ В, $U'_{осн1} = 3,62$ 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; $P_n = 0,4$ кВт; $n_n = 1000$ об/мин; $\eta_n = 70,5\%$; $U_n = 220$ В; $I_{ян} = 2,58$ А.

Коэффициенты передачи:

суммирующих усилителей $K_{A1} = 5$; $K_{A2} = 0,8$; $U_{огр1} = 10$ В; $U_{огр2} = 8$ В;

преобразователя $K_{П} = 23$;

датчика тока $K_T = 2,08$ Ом;

датчика скорости $K_C = 0,096$ В·с/рад;

$U_{з1} = 10$ В; $U_{з2} = 3$ В.

Варианты ответов:

1) $U_{A11} = 8,5$ В, $U_{A12} = 2,82$ В, $U_{A21} = 4,36$ В, $U_{A22} = 1,63$ В;

2) $U_{A11} = 9,6$ В, $U_{A12} = 3,12$ В, $U_{A21} = 6,32$ В, $U_{A22} = 2,12$ В;

3) $U_{A11} = 10$ В, $U_{A12} = 3,02$ В, $U_{A21} = 5,37$ В, $U_{A22} = 1,61$ В;

4) $U_{A11} = 6,2$ В, $U_{A12} = 2,02$ В, $U_{A21} = 4,07$ В, $U_{A22} = 1,75$ В.

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

Коэффициенты передачи:

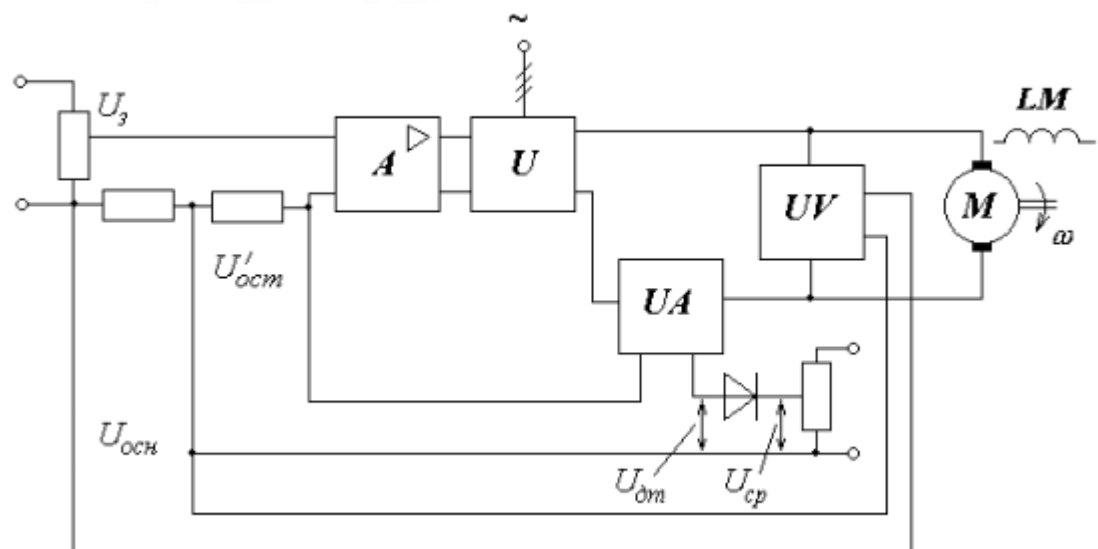
суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{П} = 23$;

датчика напряжения $K_H = 0,043$;

напряжение задания $U_z = 10$ В;

ток стопорения $I_{ст} = 280$ А; $I_{отс} = 224$ А.



Варианты ответов:

1) $U_{ср} = 9,6$ В, $K_T = 0,72$ Ом;

2) $U_{ср} = 3,6$ В, $K_T = 0,67$ Ом;

3) $U_{ср} = 14,6$ В, $K_T = 0,87$ Ом;

4) $U_{ср} = 19,6$ В, $K_T = 0,071$ Ом.

Задание 5

Для системы стабилизации скорости прокатного стана с отрицательной обратной связью по ЭДС и положительной обратной связью по току определить сигналы обратной связи по ЭДС и по току в номинальном режиме для двух значений задающего напряжения.

Исходные данные для расчёта.

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

Коэффициенты передачи:

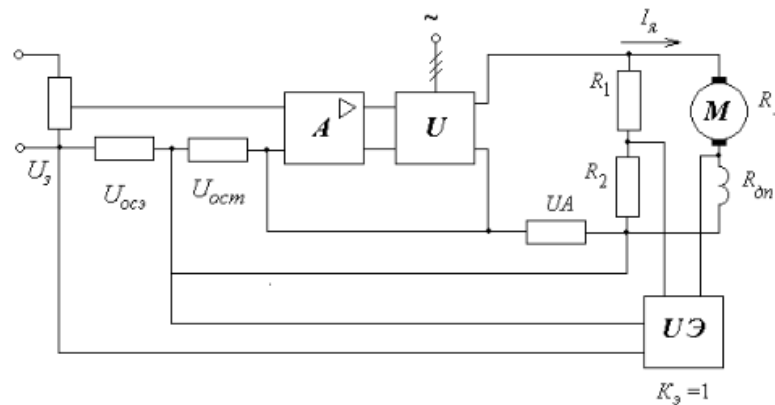
суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{П} = 23$;

датчика тока $K_T = 0,022$ Ом;

$R_1 = 9,1$ кОм; $R_2 = 510$ Ом; $R_{дп} = 0,005$ Ом.

напряжения задания $U_{з1} = 8$ В; $U_{з2} = 4$ В.

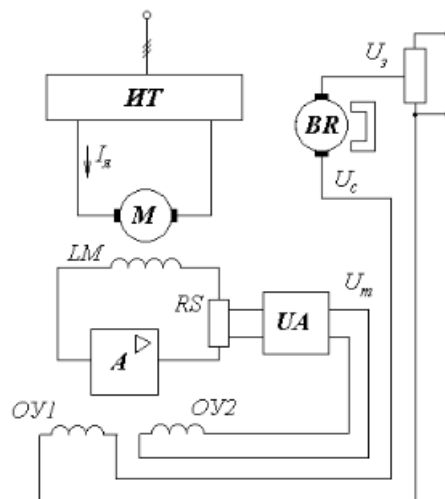


Варианты ответов:

- 1) $U_{оэ1} = 9,13$ В $U_{оэ1} = 9,01$ В, $U_{оэ2} = 4,57$ В, $U_{оэ2} = 4,55$ В;
- 2) $U_{оэ1} = 5,6$ В $U_{оэ1} = 11,21$ В, $U_{оэ2} = 2,87$ В, $U_{оэ2} = 5,55$ В;
- 3) $U_{оэ1} = 4,83$ В $U_{оэ1} = 8,52$ В, $U_{оэ2} = 2,41$ В, $U_{оэ2} = 4,26$ В;
- 4) $U_{оэ1} = 6,86$ В $U_{оэ1} = 5,23$ В, $U_{оэ2} = 3,44$ В, $U_{оэ2} = 2,75$ В.

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; $I_{ан} = 125$ 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.

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

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

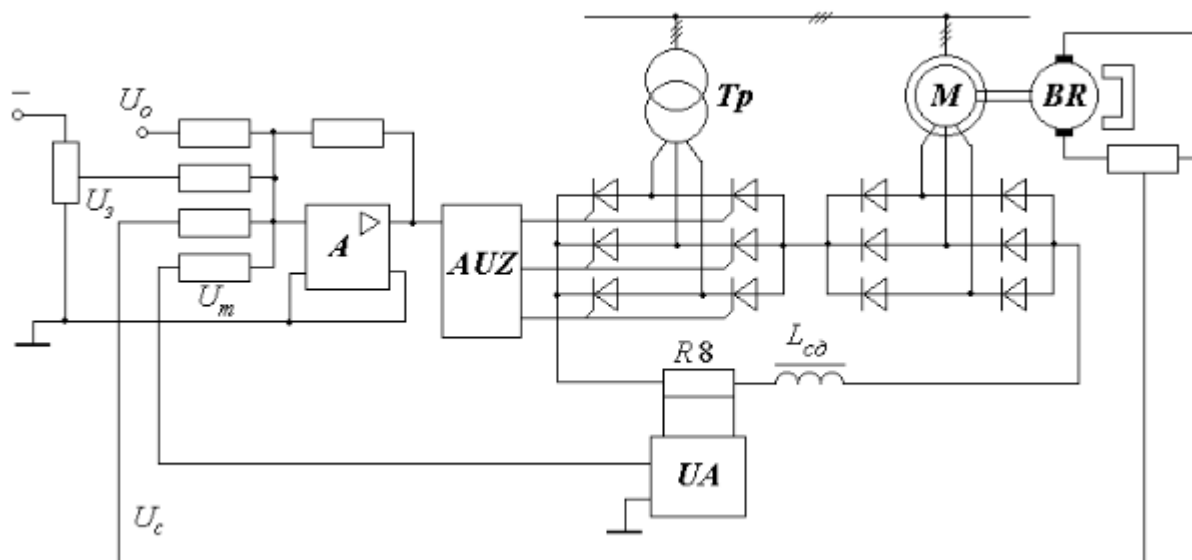
Для замкнутой системы с АВК регулирования скорости асинхронного двигателя крана определить в номинальном режиме значения сигналов обратной связи по скорости и по току для двух значений сигнала управления $U_{з1}$, $U_{з2}$.

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; $E_{pn} = 442$ 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) $U_{c1} = 4,25$ В $U_{т1} = 8,58$ В, $U_{c2} = 0,48$ В, $U_{т2} = 0,82$ В;
- 2) $U_{c1} = 6,08$ В $U_{т1} = 7,83$ В, $U_{c2} = 0,68$ В, $U_{т2} = 0,76$ В;
- 3) $U_{c1} = 9,20$ В $U_{т1} = 9,98$ В, $U_{c2} = 0,94$ В, $U_{т2} = 1,02$ В;
- 4) $U_{c1} = 7,82$ В $U_{т1} = 6,94$ В, $U_{c2} = 0,74$ В, $U_{т2} = 0,65$ 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; $P_n = 100$ кВт; $n_n = 1450$ об/мин; $\eta_n = 90,5$ %; $U_n = 220$ В; $I_{ян} = 511$ А.

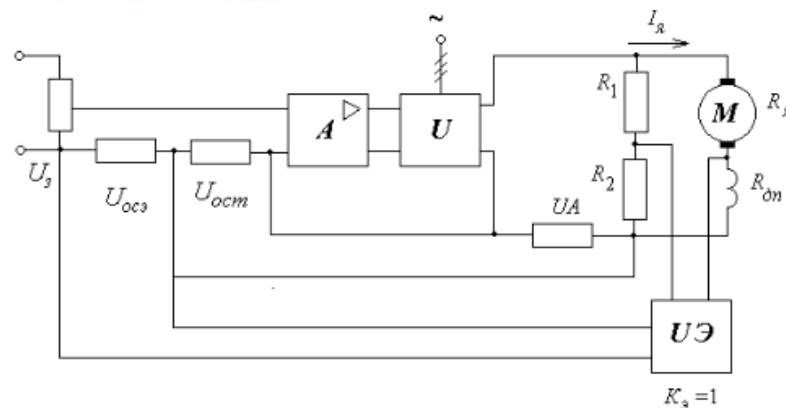
Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{\Pi} = 23$.

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

Напряжение задания $U_{\Sigma} = 10$ В.



Варианты ответов:

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

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.

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

Коэффициенты передачи:

суммирующего усилителя $K_A = 10$;

преобразователя $K_{\Pi} = 46$;

датчика скорости $K_C = 0,24$ В·с/рад;

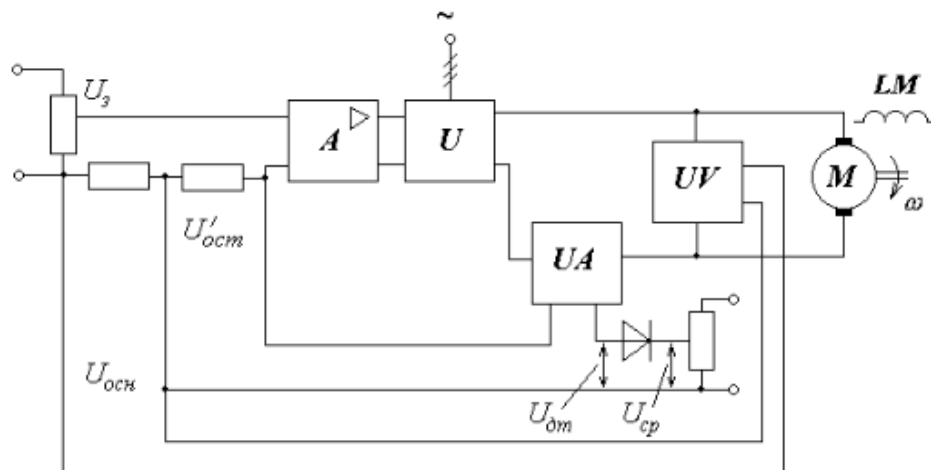
Исходные данные для расчёта.

напряжение задания $U_{\Sigma} = 8$ В.

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

Варианты ответов:

- 1) $U_{ср} = 9,6$ В, $K_T = 0,076$ Ом;
- 2) $U_{ср} = 19,8$ В, $K_T = 0,0201$ Ом;
- 3) $U_{ср} = 14,6$ В, $K_T = 0,068$ Ом;
- 4) $U_{ср} = 6,6$ В, $K_T = 0,031$ 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; $P_n = 1,5$ кВт; $n_n = 2200$ об/мин; $\eta_n = 79,5\%$; $U_n = 220$ В; $I_{ян} = 8,6$ А.

Коэффициенты передачи:

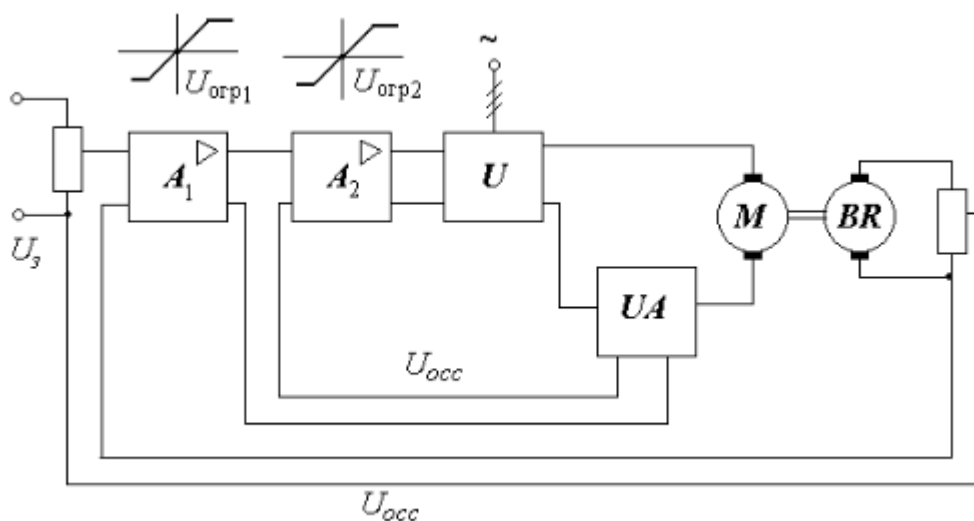
суммирующих усилителей $K_{A1} = 5$; $K_{A2} = 0,8$; $U_{орп1} = 10$ В; $U_{орп2} = 8$ В;

преобразователя $K_{П} = 23$;

датчика тока $K_T = 1,16$ Ом;

датчика скорости $K_C = 0,043$ В·с/рад;

$U_{з1} = 10$ В; $U_{з2} = 5$ В.



Варианты ответов:

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

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных

задач

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 источников тока.
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	Понятие о системах управления электроприводов. Классификация систем управления электроприводов. Показатели качества управления электроприводов.	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Функции принадлежности и нечеткие множества. Алгоритмы поиска решения в совокупности нечетких множеств. Нечеткое управление.	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Общая характеристика модального управления. Электропривод с модальным управлением. Синтез модального регулятора методом стандартных уравнений.	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Функциональная и структурная схемы электропривода с подчиненным регулированием тока и скорости. Синтез регуляторов скорости и тока.	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Однократно и двукратно интегрирующая система управления скоростью электропривода постоянного тока с подчиненным контуром тока.	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Разомкнутые системы управления асинхронного электропривода. Замкнутые системы частотного управления. Системы частотно-токового управления.	УК-1, УК-2, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

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.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. 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.

2. 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.

3. Греков, Э. Л. Исследование системы автоматического управления электроприводом постоянного тока : учебное пособие / Э. Л. Греков, В. Б. Фатеев. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2011. — 108 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/30057.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

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

5. Трубецкой В.А. Проектирование исполнительных систем

роботов: учеб. пособие / В.А. Трубецкой, В.А. Медведев, С.С. Ревнёв. - Воронеж: ВГТУ, 2018. - 98 с.

6. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для вузов / Г.Г. Соколовский. - М.: Издательский центр "Академия", 2006. - 272 с.

7. Свободно программируемые устройства в автоматизированных системах управления : учебное пособие / И. Г. Минаев, В. В. Самойленко, Д. Г. Ушкур, И. В. Федоренко. — Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2016. — 168 с. — ISBN 978-5-9596-1222-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/76052.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

8. Романов А.В. Дискретные системы интеллектуального управления: логи-ческий синтез и аппаратная реализация: учеб. пособие / А.В. Романов, Е.М. Васильев. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. 183 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 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения:

Лицензионное программное обеспечение

1. Windows Professional 8.1 Single Upgrade MVL A Each Academic;
2. «MATLAB Classroom new Product From 10 to 24 Group Licenses (per License);
3. Simulink Classroom new Product From 10 to 24 Group Licenses (per License);
4. MathWorks SMS - Software Maintenance Service (per year)

Свободно распространяемое и бесплатное программное обеспечение

1. Adobe Acrobat Reader
2. FreeMat
3. OpenOffice
4. STDU Viewer
5. Google Chrome
6. Paint.NET

8.2.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Образовательный портал ВГТУ:
<https://old.education.cchgeu.ru/>
2. Электронная библиотека ВГТУ:
<https://bibl.cchgeu.ru/catalog/>
3. Электронно-библиотечная система IPR SMART:
<https://www.iprbookshop.ru/>
4. Электронно-библиотечная система «Лань»:
<https://e.lanbook.com/>
5. Научная электронная библиотека: www.elibrary.ru
6. Информационно -справочная система ВГТУ:
<https://wiki.cchgeu.ru/>
7. Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/>
8. ГОСТ Эксперт – единая база ГОСТов РФ
<https://gostexpert.ru/>
9. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации <https://docs.cntd.ru/>
10. НЭБ – Национальная электронная библиотека
<https://rusneb.ru/>
11. КиберЛенинка <https://cyberleninka.ru/>
12. Сайт Marketelectro Рынок электротехники- отраслевой портал: Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления
<https://marketelectro.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Реализация дисциплины требует наличия учебной аудитории для проведения лекционных и практических занятий.

Оборудование аудитории: комплект учебной мебели:

- рабочее место преподавателя (стол, стул);
- рабочие места обучающихся (столы, стулья).

Технические средства обучения:

- проектор;
- экран.

Переносное техническое оборудование:

- переносной компьютер.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду вуза.

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

По дисциплине «Системы автоматического управления электроприводами» читаются лекции, проводятся практические занятия, выполняется курсовой проект.

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.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, 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 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, ответствен- ной за реализацию ОПОП
1	Актуализированы разделы 8.1, 8.2 пункта 8, а именно «Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины», «Лицензионное программное обеспечение», «Свободно-распространяемое и бесплатное программное обеспечение», «Современные профессиональные базы данных». Актуализирован пункт 9 «Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса»	31.08.2025	