

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Робототехника в электромеханических системах»
РПД Б1.В.11 «Электрический привод»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**



УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора филиала ФГБОУ ВО
«НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
канд. техн. наук, доцент
В.В. Рожков
«06» 03 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Электрический привод

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Робототехника в электромеханических системах»

Уровень высшего образования: бакалавриат

Нормативный срок обучения: 4 года

Форма обучения: очная

Год набора: 2026

Смоленск

Программа составлена с учетом ОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», утвержденного ректором ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Н.Д. Роголевым 20.12.2023.

Программу составил:



подпись

к.т.н., доцент В.А. Барышников
ФИО

« 24 » февраля 2026 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Электромеханические системы»
« 25 » февраля 2026 г., протокол № 2

Заведующий кафедрой «Электромеханических систем»:



подпись

к.т.н., доцент В.В. Рожков
ФИО

« 05 » марта 2026 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе
с ЛОВЗ и инвалидами**



подпись

зам. начальника УУ Е.В. Зуева
ФИО

« 05 » марта 2026 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является подготовка обучающихся к проектной деятельности в области электрического привода, его свойств, возможностей, приемов анализа и синтеза систем электропривода.

Задачи: изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Электрический привод относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

Электротехника и основы электроники;

Теория автоматического управления;

Электромеханические системы;

Ознакомительная практика.

Перечень последующих дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной дисциплиной:

Мехатронные узлы;

Электроприводы роботов и манипуляторов;

Гидро- и пневмоприводы роботов.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
ПК-2. Способен принимать участие в проектировании робототехнических систем (их компонентов) в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергетические, экологические тре-	ПК-2.1 Выполняет сбор и анализ данных для проектирования, составляет альтернативные варианты технических решений робототехнических систем (их компонентов)	Знает: режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, в частности, физические свойства механической и электрической частей электропривода, методы анализа режимов работы электропривода как единой сложной электромеханической системы. Умеет: рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, анализировать влияние изменения параметров и внешних воздействий на режимы работы электропривода. Владеет: способностью рассчитывать

<p>бования</p>		<p>режимы работы электроэнергетических установок различного назначения.</p>
	<p>ПК-2.2 Обосновывает выбор наиболее целесообразного решения при проектировании робототехнических систем (их компонентов) в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией с соблюдением различных технических, энергоэффективных и экологических требований</p>	<p>Знает: состав оборудования и его параметры, в частности, для различных типов электроприводов; схемы электроэнергетических объектов, конкретно, схемы включения электроприводов различного типа и методы расчета характеристик и энергетических показателей электроприводов в разных режимах. Умеет: объяснять характер процессов, пользуясь для этого физическими соображениями и важнейшими математическими соотношениями. Владеет: навыками расчета статических характеристик, переходных процессов и энергетических показателей электропривода с применением компьютерной техники.</p>

Содержание дисциплины:

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	<p>Лекционные занятия:</p> <p>1.1. Назначение электропривода. Структура и основные элементы современного автоматизированного электропривода. Краткий исторический обзор и современные тенденции в развитии электропривода. Механика электропривода. Параметры механического движения. Режимы работы электропривода. Движущие и тормозящие, активные и реактивные, консервативные и диссипативные силы и моменты в электроприводе. Моменты (силы) исполнительных органов и кинематические схемы производственных механизмов. Зависимости моментов (сил) исполнительных органов от скорости, пути и времени. Линейные и нелинейные кинематические связи.</p> <p>1.2. Расчетные схемы механической части электропривода. Приведение параметров и нагрузок к расчетной скорости. Переход от многомассовой системы к трех-, двух- и одномассовой системам. Уравнения движения электропривода. Правило знаков в уравнении движения. Переходные и установившиеся динамические режимы движения. Статический режим движения. Механические характеристики двигателя и производственного механизма. Иллюстрация режимов работы электропривода на примере подъемного механизма. Статическая устойчивость электропривода.</p> <p>1.3. Механическая часть электропривода как объект управления. Структурные схемы и передаточные функции двухмассовой и одномассовой механической части электропривода. Анализ установившихся динамических режимов механической части электропривода частотным методом. АЧХ и ФЧХ одномассовой механической части и двухмассовой механической системы. Влияние диссипативных сил на колебания механической системы. Механические переходные процессы в электроприводе при одномассовой механической части и двухмассовой системе с упругой связью. Динамические нагрузки механической части электропривода. Уравнения движения двухмассовой системы с кинематическим зазором. Динамический коэффициент нагрузки передач с упругой связью и кинематическим зазором.</p> <p>1.4. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Математическое описание динамических процессов в электроприводе с двигателем постоянного тока независимого возбуждения. Уравнения динамических и статических характеристик и режимы работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Понятия жесткости и статизма статической механической характеристики. Естественная и искусственные (регулируемые) характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Влияние добавочного сопротивления в якорной цепи на статические характеристики. Уравнения характеристик в относительных единицах. Статические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при различных значениях потока и напряжения, подводимого к якорю (система Г-Д), в схеме с шунтированием якоря. Динамическое торможение двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Статические характеристики двигателя при динамическом торможении.</p> <p>1.5. Математическое описание динамических процессов в электроприводе с двигателем постоянного тока независимого возбуждения в операторной форме. Структурная схема электропривода. Определение параметров структурной схемы. Структурная схема электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения при $\Phi = \text{const}$. Динамические свойства электропривода. Переходные и импульсные функции при различных соотношениях постоянных времени T_m и T_α. Влияние упругости на динамические свойства системы.</p> <p>1.6. Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Математическое описание динамических процессов в электроприводе с двигателем последова-</p>

тельного возбуждения. Статические характеристики. Режимы работы в естественной схеме включения. Регулировочные характеристики электропривода с двигателем последовательного возбуждения. Расчет и построение статических характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения для различных значений добавочного сопротивления в якорной цепи и при изменении питающего напряжения. Характеристики в схеме с шунтированием обмотки возбуждения, с шунтированием якоря. Динамическое торможение с самовозбуждением двигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Условия самовозбуждения. Динамическое торможение с независимым возбуждением. Схема включения, уравнения динамических процессов в электроприводе с двигателем постоянного тока смешанного возбуждения, статические характеристики и режимы работы электропривода.

1.7. Математическое описание динамических процессов в асинхронном электроприводе. Представление токов, напряжений, потокосцеплений трехфазной машины в векторной форме. Двухфазная обобщенная электрическая машина. Преобразование переменных статора и ротора к общей ортогональной системе координат u, v , вращающейся с произвольной скоростью ω_k . Уравнения электрического равновесия для статорной и роторной обмоток в системе координат u, v . Физический смысл координатных преобразований. Выбор скорости вращения координатных осей ω_k . Потребляемая мощность и электромагнитный момент трехфазного асинхронного двигателя. Выражение для электромагнитного момента двигателя. Уравнения, описывающие динамические процессы в асинхронном электроприводе.

1.8. Схема включения и уравнения динамических процессов асинхронного электропривода в осях x, y . Уравнения для статического режима. Векторная диаграмма и схемы замещения асинхронного двигателя. Естественная механическая и электромеханические характеристики асинхронного двигателя, получаемые на основе Г-образной схемы замещения. Режимы работы асинхронного двигателя. Динамическое торможение с независимым возбуждением асинхронного двигателя. Влияние насыщения магнитной цепи на механические характеристики двигателя. Режим динамического торможения со смешанным возбуждением. Регулировочные (искусственные) характеристики асинхронного электропривода при симметричном включении активного или индуктивного сопротивления в роторную или статорную цепь, при изменении питающего напряжения.

1.9. Схема включения и принцип работы асинхронного электропривода с импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока ротора. Асинхронный электропривод с импульсным регулятором и рекуперацией энергии скольжения в сеть. Расчет статических механических характеристик при импульсном управлении в цепи выпрямленного тока ротора. Расчет характеристик асинхронного электропривода в режиме динамического торможения со смешанным возбуждением. Каскадные схемы асинхронных электроприводов. Асинхронный вентильно-машинный электрический каскад, асинхронно-вентильный каскад, асинхронный вентильно-машинный электромеханический каскад. Схемы включения, принцип работы, механические характеристики. Расчет механических характеристик каскадных асинхронных электроприводов.

1.10. Электропривод с многоскоростными асинхронными двигателями. Принцип работы, механические характеристики, допустимая нагрузка при работе на различных характеристиках. Асинхронный электропривод с частотным управлением. Механические характеристики при различных законах частотного регулирования. Динамические процессы в асинхронном электроприводе. Уравнения и структурная схема асинхронного электропривода при линеаризованной динамической механической характеристике двигателя. Динамические свойства асинхронного электропривода при работе на рабочем участке механической характеристики.

1.11. Электромеханические свойства электропривода с синхронным двигателем. Схема

	<p>включения, пусковая, статическая и динамическая механические характеристики синхронного двигателя. Уравнения в осях d, q, описывающие динамические процессы в синхронном электроприводе. Угловая характеристика синхронного двигателя. Приближенное уравнение динамической механической характеристики. Структурная схема синхронного электропривода. Влияние тока возбуждения на максимальный момент и коэффициент мощности двигателя.</p> <p>1.12. Электромеханические переходные процессы разомкнутой системы электропривода. Общие уравнения электромеханических переходных процессов в электроприводе с линейной механической характеристикой двигателя при $c_{12}=\infty$, $M_c=\text{const}$ и скачкообразном изменении управляющего или возмущающего воздействия. Переходные процессы на естественной характеристике при набросе и сбросе нагрузки M_c скачком. Переходный процесс пуска двигателя по реостатной характеристике. Переходные процессы при ступенчатом реостатном пуске двигателя с линейной механической характеристикой. Расчет и построение пусковой диаграммы и графиков переходных процессов. Переходные процессы при реверсе и динамическом торможении с активным и реактивным моментом на валу двигателя с линейной механической характеристикой.</p> <p>1.13. Электромеханические переходные процессы в электроприводе при $c_{12}=\infty$, $M_c=\text{const}$ и линейном изменении ω в функции времени. Уравнения и их решения. Переходные процессы пуска с реактивным и активным моментом на валу двигателя при линейном изменении ω в функции времени. Переходные процессы реверса с активным моментом на валу двигателя при линейном изменении ω в функции времени. Электромеханические переходные процессы электропривода при экспоненциальном изменении $\omega_0=f(t)$ (система Г-Д). Допущения, принимаемые при аналитическом рассмотрении переходных процессов. Переходные процессы пуска электропривода по системе Г-Д при активном и реактивном M_c. Особенности переходных процессов электропривода с асинхронным короткозамкнутым двигателем.</p> <p>1.14. Показатели, характеризующие работу электропривода с энергетической точки зрения. Потребляемая мощность, КПД и потери при работе двигателя на естественной характеристике с постоянной нагрузкой. Определение потерь при работе двигателя на естественной характеристике с переменной нагрузкой методом эквивалентных величин. Условия применимости различных вариантов метода. Потери при работе двигателей на регулировочных характеристиках.</p> <p>1.15. Потери и КПД в регулируемом электроприводе. Зависимость их от характера изменения статического момента от скорости. Интегральный КПД за производственный цикл. Потери и расход энергии в переходных режимах двигателей постоянного тока. Потери и расход энергии в переходных режимах асинхронных двигателей. Способы снижения потерь в переходных режимах. Коэффициент мощности и потребление реактивной энергии асинхронными и синхронными двигателями трехфазного тока. Определение коэффициента мощности за цикл работы. Коэффициент мощности электропривода по системе ТП-Д.</p>
2	<p>Лабораторные работы:</p> <p>2.1. Работа №1 «Характеристики электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения».</p> <p>2.2. Работа №2 «Характеристики электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения».</p> <p>2.3. Работа №3 «Характеристики электропривода с асинхронным двигателем».</p> <p>2.4. Работа №4 «Характеристики электропривода с асинхронным двигателем в несимметричных режимах и при изменении напряжения питания».</p> <p>2.5. Работа №5 «Характеристики электропривода с асинхронным многоскоростным двигателем».</p> <p>2.6. Работа №6 «Характеристики асинхронного электропривода при частотном управле-</p>

	<p>нии».</p> <p>2.7. Работа №7 «Характеристики асинхронного электропривода с асинхронно-вентильным каскадом».</p> <p>2.8. Защита лабораторных работ №1-№7.</p>
3	<p>Практические занятия:</p> <p>3.1. Составление для кинематической схемы расчетной схемы с приведением параметров элементов, сил и моментов к скорости двигателя.</p> <p>3.2. Составление по расчетной схеме двухмассовой механической части электропривода структурной схемы и определение передаточной функции. Расчет и построение амплитудно-частотной (АЧХ) и фазочастотной (ФЧХ) характеристики.</p> <p>3.3. Определение динамического коэффициента нагрузки передач при пуске с заданным ускорением электропривода с двухмассовой механической частью и зазором в кинематической цепи.</p> <p>3.4. Расчет и построение естественных и регулировочных электромеханических $\omega=f(I)$ и механических $\omega=f(M)$ статических характеристик для двигателя постоянного тока независимого возбуждения.</p> <p>3.5. Расчет и построение искусственных характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения в режиме динамического торможения с самовозбуждением при $R_{доб}$ в якорной цепи и его отсутствии.</p> <p>3.6. Расчет и построение естественных статических характеристик $\omega(I_2)$ и $\omega(M)$ для трехфазного асинхронного двигателя.</p> <p>3.7. Расчет для двигателя с линейной механической характеристикой переходный процесс при скачкообразном приложении (снятии) нагрузки с учетом электромагнитной инерции и построение графиков $\omega(t)$, $M(t)$ и динамической характеристики $\omega(M)$.</p> <p>3.8. Определение номинальных потерь и коэффициента потерь α для двигателя постоянного тока независимого возбуждения.</p>
4	<p>Расчетно-графическая работа предусматривает выполнение трех задач по темам:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Механика электропривода. 2. Электропривод с двигателем постоянного тока независимого возбуждения. 3. Электропривод с асинхронным двигателем.
5	<p>Самостоятельная работа студентов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 5.1. Проработка лекционного материала. 5.2. Подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуальных заданий (домашняя работа). 5.3. Подготовка к срезам знаний – проверочным работам, проходящих на практических занятиях. 5.4. Подготовка к выполнению лабораторных работ, подготовка и оформление отчета по лабораторным работам. 5.5. Подготовка к допуску и защите лабораторных работ. 5.6. Выполнение и защита расчетно-графической работы.

Текущий контроль: контрольные работы на практических занятиях; опрос при допуске к выполнению лабораторных работ; защита лабораторных работ, защита расчетно-графической работы.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Таблица - Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной занятости по дисциплине

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1	Лекции	Классическая (традиционная, информационная) лекция Интерактивная лекция (лекция-визуализация)
2	Практические занятия	Технология обучения на основе решения задач и выполнения упражнений Технологии проведения практических занятий в форме семинара: тематический семинар, проблемный семинар, семинар с подготовленными докладами, семинар в форме диспута с привлечением специалиста в сфере профессиональной деятельности выпускников и т.п.
3	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий в малой группе (в бригаде) Технология проблемного обучения на основе анализа результатов лабораторной работы: индивидуальный опрос, собеседование в малой группе (бригаде), обсуждение результатов командной работы, групповая дискуссия, метод «круглого стола», представление студентом или группой студентов (бригадой) результатов лабораторной работы в форме отчета и мультимедийной презентации Допуск к лабораторной работе
4	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине)
5	Контроль (промежуточная аттестация: экзамен)	Технология устного опроса

6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ – ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине могут привлекаться представители работодателей, преподаватели последующих дисциплин, заведующие кафедрами.

Оценка качества освоения дисциплины включает как текущий контроль успеваемости, так и промежуточную аттестацию.

Оценочные средства текущего контроля:

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционному материалу):

1. Моменты (силы) исполнительных органов и кинематические схемы производственных механизмов.
2. Расчетные схемы механической части электропривода.
3. Уравнения движения и режимы работы электропривода.
4. Механическая часть электропривода как объект управления.
5. Механические переходные процессы электропривода.
6. Динамические нагрузки механической части электропривода
7. Электромеханические свойства электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения. Математическое описание динамических процессов в электроприводе. Структурная схема.
8. Уравнения статических характеристик и режимы работы электропривода с двигателем независимого возбуждения. Динамическое торможение. Динамические свойства.
9. Электромеханические свойства электроприводов с двигателями последовательного возбуждения. Схема включения. Математическое описание динамических режимов. Статические характеристики.
10. Режимы работы электроприводов с двигателями последовательного возбуждения. Расчет регулировочных характеристик. Динамическое торможение с самовозбуждением. Особенности характеристик двигателя со смешанным возбуждением.
11. Электромеханические свойства асинхронных электроприводов. Математическое описание динамических процессов в асинхронном электроприводе. Характеристики и режимы работы. Регулировочные характеристики.
12. Режим динамического торможения АД. Каскадные схемы.
13. Частотное регулирование. Динамические процессы в асинхронном электроприводе.
14. Электромеханические свойства электропривода с синхронным двигателем.
15. Электромеханические переходные процессы электропривода с линейной механической характеристикой при скачкообразном изменении управляющего или возмущающего воздействия.
16. Электромеханические переходные процессы электропривода при линейном изменении $\omega_0=f(t)$. Электромеханические переходные процессы электропривода при экспоненциальном изменении $\omega_0=f(t)$. Особенности переходных процессов электропривода с асинхронным короткозамкнутым двигателем.
17. Потребляемая мощность, КПД и потери при работе двигателя на естественной характеристике с постоянной нагрузкой. Определение потерь при переменной нагрузке.
18. Потери при работе двигателя на регулировочных характеристиках. Потери и КПД в регулируемом электроприводе.
19. Потери и расход энергии в переходных режимах.
20. Коэффициент мощности и потребление реактивной энергии двигателями переменного тока Коэффициент мощности электропривода по системе ТП-Д.
21. Нагревание и охлаждение двигателей.
22. Нагрузочные диаграммы электроприводов. Номинальные режимы работы двигателей.
23. Выбор двигателя для продолжительного режима работы.
24. Выбор двигателя для кратковременного режима работы.
25. Выбор двигателя для повторно-кратковременного режима работы.

Вопросы по приобретению и развитию практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям, лабораторным работам):

1. При воздействии каких сил и моментов происходит поглощение энергии механических колебаний?
2. Какие моменты (силы) всегда препятствуют движению?

3. В каких режимах мощность, развиваемая двигателем равна нулю?
4. Как привести момент инерции i -го элемента J_i , вращающегося со скоростью ω_i , к скорости двигателя ω ?
5. Как определить приведенный к скорости двигателя ω момент инерции j -го элемента с массой m_j , поступательно движущегося со скоростью v_j ?
6. Как определяется статический момент M_c в одномассовой системе при обратном направлении энергии от рабочего органа к двигателю и известных $M_{мех}$, передаточном отношении i , КПД передачи η ?
7. Как определяется статический момент M_c в одномассовой системе при прямом направлении энергии от двигателя к рабочему органу и известных $M_{мех}$, передаточном отношении i , КПД передачи η ?
8. В какой механической системе невозможно появление механического резонанса?
9. Какой ток протекает в обмотке якоря машины постоянного тока при его вращении?
10. Чем ограничен максимально-допустимый ток якоря?
11. Как изменяется скорость идеального холостого хода двигателя постоянного тока независимого возбуждения при уменьшении напряжения, питающего обмотку возбуждения?
12. Чему равна скорость идеального холостого хода двигателя постоянного тока последовательного возбуждения в схеме с шунтированием якоря при $R_{ш}=0$?
13. Чем определяется скорость идеального холостого хода двигателя постоянного тока смешанного возбуждения?
14. Сколько фаз имеет статорная обмотка обобщенной электрической машины?
15. Какой скорости ω асинхронного двигателя в режиме динамического торможения соответствует $s=0$?
16. При какой скорости ω_k общих координатных осей статора и ротора переменное напряжение статора преобразуется в постоянное?
17. Уравнение $(T_p+1)M=\beta(\omega_0-\omega)$ описывает динамическую механическую характеристику какого двигателя?
18. Как изменяются потери в переходных режимах при уменьшении суммарного приведенного момента инерции электропривода?

Расчетно-графическая работа

При выполнении расчетно-графической работы студенты осваивают методики составления расчетных схем механической части электропривода, приведения параметров кинематической цепи к расчетной скорости, анализа динамических свойств и динамических нагрузок механической части с учетом упругостей и зазоров в кинематической цепи. Получают представление о порядке величин параметров электромеханических преобразователей, и методиках расчета статических и динамических характеристик двигателей в различных режимах работы, а также при пуске электропривода.

Расчетно-графическая работа предусматривает выполнение трех задач по темам:

1. Механика электропривода

1.1. Для данной кинематической схемы (см. приложение) составить расчетную схему, выполнив приведение параметров элементов и моментов нагрузки к валу двигателя.

1.2. Записать уравнения движения, составить структурную схему и определить передаточную функцию механической части $W(p)=\dots$. Построить АЧХ и ФЧХ.

1.3. Определить динамический коэффициент нагрузки передач при пуске электропривода с упругостью и зазором в кинематической цепи, приняв величину приведенного к валу двигателя зазора в передачах $\Delta\varphi=0,75$ рад. и допустимое линейное ускорение на рабочем органе $a=0,2$ м/с².

2. Электропривод с двигателем постоянного тока независимого возбуждения

- 2.1. Изобразить структурную схему двигателя и определить ее параметры.
- 2.2. Рассчитать и построить естественные электромеханическую $\omega(I)$ и механическую $\omega(M)$ статические характеристики двигателя.
- 2.3. Рассчитать и построить искусственные характеристики $\omega(I)$ и $\omega(M)$ при ослаблении поля для случая прохождения механической характеристики через заданную точку с координатами $[\omega_c, M_c]$ (см. таблицу).
- 2.4. Рассчитать и построить искусственные реостатные характеристики $\omega(I)$ и $\omega(M)$ для случая прохождения механической характеристики через точку с координатами $[\omega_c, M_c]$.
- 2.5. Рассчитать и построить реостатные характеристики $\omega(I)$ и $\omega(M)$ при динамическом торможении для случая прохождения механической характеристики через заданную точку с координатами $[\omega_c, M_c]$.
- 2.6. Рассчитать с учетом электромагнитной инерции якорной цепи переходный процесс при скачкообразном приложении (снятии) нагрузки $M_c = \dots$ и построить графики $\omega(t)$, $M(t)$ (двигатель работает на естественной характеристике). Построить динамическую характеристику $\omega(M)$.
ПРИМЕЧАНИЕ: Расчет статических характеристик должен производиться в пределах допустимой нагрузки двигателя.

3. Электропривод с асинхронным двигателем

- 3.1. Изобразить линеаризованную структурную схему асинхронного двигателя, определить ее параметры.
- 3.2. Рассчитать и построить естественные статические характеристики $\omega(I_2)$ и $\omega(M)$.
- 3.3. Рассчитать и построить искусственную реостатную механическую характеристику $\omega(M)$, проходящую своей рабочей частью через точку с координатами $[\omega_c, M_c]$.
- 3.4. Рассчитать и построить искусственную характеристику двигателя $\omega(M)$ при заданных $U_{1ф}$ и f_1 .
- 3.5. На основе линеаризованной механической характеристики двигателя рассчитать и построить пусковую диаграмму для пуска в три ступени при $M_c = \dots$, а также графики переходных процессов $\omega(t)$, $M(t)$ и динамическую механическую характеристику $\omega(M)$. Переходный процесс разбега на последнем участке без добавочных сопротивлений рассчитать с учетом электромагнитной постоянной двигателя.

Оценочные средства промежуточной аттестации:

Вопросы по закреплению теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями (вопросы к экзамену):

1. Моменты (силы) исполнительных органов и кинематические схемы производственных механизмов. Зависимости моментов (сил) исполнительных органов от скорости, пути и времени. Линейные и нелинейные кинематические связи.
2. Расчетные схемы механической части электропривода. Приведение параметров и нагрузок к расчетной скорости. Переход от многомассовой системы к трех-, двух- и одномассовой системам.
3. Уравнения движения электропривода. Правило знаков в уравнении движения. Переходные и установившиеся динамические режимы движения. Статический режим движения.
4. Механические характеристики двигателя и производственного механизма. Иллюстрация применения правила знаков в уравнении движения электропривода на примере подъемного механизма в различных режимах работы. Статическая устойчивость электропривода.
5. Механическая часть электропривода как объект управления. Структурные схемы и передаточные функции двухмассовой и одномассовой механической части электропривода.
6. Анализ установившихся динамических режимов механической части электропривода частотным методом. АЧХ и ФЧХ одномассовой механической части и двухмассовой механической

ской системы. Влияние диссипативных сил на колебания механической системы.

7. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Математическое описание динамических процессов в электроприводе с двигателем постоянного тока независимого возбуждения. Понятия об *электромеханической связи в электроприводе, динамических механических и электромеханических характеристиках* электропривода.

8. Уравнения статических характеристик и режимы работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Понятия *жесткости и статизма* механической характеристики.

9. Естественная и искусственные (регулируемые) характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Влияние добавочного сопротивления в якорной цепи на статические характеристики. Уравнения характеристик в относительных единицах.

10. Статические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при различных значениях потока и напряжения, подводимого к якорю (система Г-Д), в схеме с шунтированием якоря.

11. Динамическое торможение двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Статические характеристики двигателя при динамическом торможении.

12. Математическое описание динамических процессов в электроприводе с двигателем постоянного тока независимого возбуждения в операторной форме. Структурная схема электропривода. Определение параметров структурной схемы.

13. Структурная схема электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения при $\Phi = \text{const}$. Динамические свойства электропривода. Переходные и импульсные функции при различных соотношениях постоянных времени T_m и T_j .

14. Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Математическое описание динамических процессов в электроприводе с двигателем последовательного возбуждения. Статические характеристики. Режимы работы в естественной схеме включения.

15. Регулируемые характеристики электропривода с двигателем последовательного возбуждения. Расчет и построение статических характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения для различных значений добавочного сопротивления в якорной цепи и при изменении питающего напряжения. Характеристики в схеме с шунтированием обмотки возбуждения, с шунтированием якоря.

16. Динамическое торможение с самовозбуждением двигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Условия самовозбуждения. Динамическое торможение с независимым возбуждением.

17. Схема включения, уравнения динамических процессов в электроприводе с двигателем постоянного тока смешанного возбуждения, статические характеристики и режимы работы.

18. Естественная механическая и электромеханические характеристики асинхронного двигателя, получаемые на основе Г-образной схемы замещения. Режимы работы асинхронного двигателя.

19. Динамическое торможение с независимым возбуждением асинхронного двигателя. Влияние насыщения магнитной цепи на механические характеристики двигателя. Режим динамического торможения со смешанным возбуждением.

20. Регулируемые (искусственные) характеристики асинхронного электропривода при симметричном включении активного или индуктивного сопротивления в роторную или статорную цепь, при изменении питающего напряжения.

21. Схема включения и принцип работы асинхронного электропривода с импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока ротора. Асинхронный электропривод с импульсным регулятором и рекуперацией энергии скольжения в сеть.

22. Каскадные схемы асинхронных электроприводов. Асинхронный вентильно-машинный электрический каскад, асинхронно-вентильный каскад, асинхронный вентильно-машинный электромеханический каскад. Схемы включения, принцип работы, механические характеристики.

23. Электропривод с многоскоростными асинхронными двигателями. Принцип работы, механические характеристики, допустимая нагрузка при работе на различных характеристиках.
24. Асинхронный электропривод с частотным управлением. Механические характеристики при различных законах частотного регулирования.
25. Динамические процессы в асинхронном электроприводе. Уравнения и структурная схема асинхронного электропривода при линеаризованной динамической механической характеристике двигателя. Динамические свойства асинхронного электропривода при работе на рабочем участке механической характеристики.
26. Электромеханические свойства электропривода с синхронным двигателем. Схема включения, пусковая, статическая и динамическая механические характеристики синхронного двигателя. Уравнения в осях d, q , описывающие динамические процессы в синхронном электроприводе.
27. Угловая характеристика синхронного двигателя. Приближенное уравнение динамической механической характеристики. Структурная схема синхронного электропривода. Влияние тока возбуждения на максимальный момент и коэффициент мощности двигателя.
28. Общие уравнения электромеханических переходных процессов в электроприводе с линейной механической характеристикой двигателя при $c_{12}=\infty$, $M_c=\text{const}$ и скачкообразном изменении управляющего или возмущающего воздействия.
29. Электромеханические переходные процессы на естественной характеристике при набросе и сбросе нагрузки M_c скачком.
30. Переходный процесс пуска двигателя по реостатной характеристике. Переходные процессы при ступенчатом реостатном пуске двигателя с линейной механической характеристикой. Расчет и построение пусковой диаграммы и графиков переходных процессов.
31. Переходные процессы при реверсе и динамическом торможении с активным и реактивным моментом на валу двигателя с линейной механической характеристикой.
32. Переходные процессы пуска с реактивным и активным моментом на валу двигателя при линейном изменении ω_b в функции времени.
33. Переходные процессы реверса с активным и реактивным моментом на валу двигателя при линейном изменении ω_b в функции времени.
34. Показатели, характеризующие работу электропривода с энергетической точки зрения. Потребляемая мощность, КПД и потери при работе двигателя на естественной характеристике с постоянной нагрузкой.
35. Определение потерь при работе двигателя на естественной характеристике с переменной нагрузкой методом эквивалентных величин. Условия применимости различных вариантов метода.
36. Потери при работе двигателей на регулировочных характеристиках.
37. Потери и КПД в регулируемом электроприводе. Зависимость их от характера изменения статического момента от скорости. Интегральный КПД за производственный цикл.
38. Потери и расход энергии в переходных режимах двигателей постоянного тока.
39. Потери и расход энергии в переходных режимах асинхронных двигателей. Способы снижения потерь в переходных режимах.
40. Коэффициент мощности и потребление реактивной энергии асинхронными и синхронными двигателями трехфазного тока. Определение коэффициента мощности за цикл работы.
41. Коэффициент мощности электропривода постоянного тока по системе ТП-Д.
42. Нагревание и охлаждение двигателей.
43. Нагрузочные диаграммы электроприводов.
44. Номинальные режимы работы двигателей.
45. Выбор двигателя для продолжительного режима работы.
46. Выбор двигателя для кратковременного режима работы.
47. Выбор двигателя для повторно-кратковременного режима работы.

48. Особенности выбора двигателя для регулируемого электропривода.

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок – "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно", "зачтено", "не зачтено" (далее - пятибалльная система).

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине – **экзамен**.

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «эталонный».
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом не принципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «продвинутый».
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившему другие практические задания из того же раздела дисциплины. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «пороговый».
«неудовлетворительно»/ не зачтено	Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
	«неудовлетворительно ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебное и учебно-лабораторное оборудование

Лекционные занятия проводятся в учебной аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенной:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Практические занятия проводятся в учебной аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенной:

- специализированной мебелью; доской аудиторной.

Для проведения занятий лабораторного типа используются специализированные лаборатории: лаборатория Б-105 «Электрический привод» расположенная по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр., д.1, Здание энергетического института (лабораторный корпус № 2).

Лаборатория Б-105 оснащена стендами для исследования с 20-ю рабочими местами:

стенды для исследований статических и динамических характеристик электроприводов с асинхронными, синхронными машинами, машинами постоянного тока;
стенд для исследования электропривода постоянного тока с подчиненным регулированием координат; стенд с электромеханическим частотным преобразователем;
стенд для исследования асинхронно-вентильного каскада;
многоканальные цифровые осциллографы с персональными компьютерами;
универсальный стенд для испытаний асинхронного электропривода и привода постоянного тока с частотным управлением и тиристорным (транзисторным) преобразователем

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами с подключением к сети "Интернет" и доступом в ЭИОС филиала.

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

для слепых и слабовидящих:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

для глухих и слабослышащих:

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;
- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

для слепых и слабовидящих:

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

для глухих и слабослышащих:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;

- в форме аудиофайла.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература.

1. Епифанов А. П. Электропривод [Электронный ресурс]: учебник / Епифанов А. П., Малайчук Л. М., Гущинский А. Г. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2012. — 400 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3812
2. Волченсков, В.И. Исследование трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. — Электрон. дан. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2009. — 42 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52091
3. Фролов, Ю.М. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.М. Фролов, Шелякин В. П. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2012. — 367 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3185

Дополнительная литература.

1. Данилов П.Е. Основы теории электропривода. Часть первая. Конспект лекций по курсу «Электрический привод» [Текст]: конспект лекций / П.Е. Данилов. — 2-ое изд., испр. и доп. — Смоленск, 2013. — 200 с.
2. Данилов П.Е. Теория электропривода. [Текст]: монография / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков. — Смоленск, 2014. — 348 с.
3. Методические указания к выполнению расчетного задания по курсу «Электрический привод» [Текст]: методические указания / П.Е. Данилов, В.В. Рожков. — 2-ое изд., испр. — Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2013. — 24 с.



ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Но- мер из- ме- не- ния	Номера страниц				Всего стра- ниц в доку- менте	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего измене- ния в данный эк- земпляр	Дата внесения из- менения в данный эк- земпляр	Дата введения из- менения
	из- ме- нен- ных	за- ме- нен- ных	но- вых	ан- ну- ли- ро- ванн ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10