

**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
по учебно-методической работе
В.В. Рожков
2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД**

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Робототехника в электромеханических системах

Уровень высшего образования: бакалавриат

Нормативный срок обучения: 4 года

Форма обучения: очная

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Целью освоения дисциплины является подготовка обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

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

Дисциплина направлена на формирование у выпускника следующих профессиональных компетенций:

«способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности» (ПК-6);

«готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике» (ПК-7).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

– 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 (ПК-6);

– состав оборудования и его параметры, в частности, для различных типов электроприводов (ПК-6);

– схемы электроэнергетических объектов, конкретно, схемы включения электроприводов различного типа и методы расчета характеристик и энергетических показателей электроприводов в разных режимах (ПК-7).

Уметь:

– рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, анализировать влияние изменения параметров и внешних воздействий на режимы работы электропривода (ПК-6);

– объяснять характер процессов, пользуясь для этого физическими соображениями и важнейшими математическими соотношениями (ПК-7).

Владеть:

– способностью рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения (ПК-6),

– навыками расчета статических характеристик, переходных процессов и энергетических показателей электропривода с применением компьютерной техники (ПК-7).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Электрический привод» относится к вариативной части Б1 основной образовательной программы по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

В соответствии с учебным планом по направлению «Электроэнергетика и электротехника» дисциплина «Электрический привод» базируется на следующих дисциплинах:

Б1.Б.9 Теоретические основы электротехники

Б1.В.ОД.5 Дискретные преобразования в электромеханических системах

Б1.В.ОД.10 Силовая электроника

Б1.Б.11 Электрические машины

Б1.В.ОД.9 Теория автоматического управления

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения дисциплины, являются базой для изучения следующих дисциплин:

- Б1.В.ДВ.5.1 Механика движений роботов
- Б1.В.ДВ.5.2 Оптимизация пространственных манипуляций роботов
- Б1.В.ДВ.7.1 Мехатронные узлы
- Б1.В.ДВ.7.2 Прочностные расчеты в задачах робототехники
- Б1.В.ОД.6 Элементы систем автоматики
- Б1.В.ОД.7 Электромеханические системы
- Б1.В.ДВ.2.1 Цифровые системы управления роботами и манипуляторами
- Б1.В.ДВ.2.2 Преобразовательная техника в робототехнических системах
- Б1.В.ДВ.4.1 Компьютерное управление в робототехнических системах
- Б1.В.ДВ.4.2 Сервоконтроллеры роботов и манипуляторов
- Б1.В.ДВ.6.1 Электроприводы роботов и манипуляторов
- Б1.В.ДВ.6.2 Гидро- и пневмоприводы роботов

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Аудиторная работа

Цикл:	Б1	Семестр
Часть цикла:	вариативная	
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.ОД.11	
Часов (всего) по учебному плану:	216	6 семестр
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6 семестр
Лекции (ЗЕТ, часов)	0.83, 30	6 семестр
Практические занятия (ЗЕТ, часов)	0.83, 30	6 семестр
Лабораторные работы (ЗЕТ, часов)	0.83, 30	6 семестр
Объем самостоятельной работы по учебному плану (ЗЕТ, часов всего)	2.5, 90	6 семестр
Экзамен (ЗЕТ, часов)	1.0, 36	6 семестр

Самостоятельная работа студентов

Вид работ	Трудоёмкость, ЗЕТ, час
Подготовка к практическим занятиям (пз)	0.5, 18
Подготовка к защите лабораторной работы (лаб)	0.5, 18
Выполнение расчетно-графической работы (реферата)	0.5, 18
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	1.0, 36
Всего:	2.5, 90
Подготовка к экзамену	1.0, 36

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических и видов учебных занятий

№ п/п	Темы дисциплины	Всего часов на тему	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость (в часах)				
			лк	пр	лаб	СРС	в т.ч. интеракт.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тема 1. Механика электропривода	36	6	6	6	18	
2	Тема 2. Электромеханические свойства электроприводов постоянного тока	36	6	6	6	18	
3	Тема 3. Электромеханические свойства электроприводов переменного тока	60	10	10	10	30	
4	Тема 4. Электромеханические переходные процессы разомкнутой системы ЭП	24	4	4	4	12	
5	Тема 5. Энергетические показатели ЭП	24	4	4	4	12	
всего 216 часов по видам учебных занятий (включая 36 часов на подготовку к экзамену)			30	30	30	90	

Содержание по видам учебных занятий

Содержание лекций

Тема 1. Механика электропривода (6 часов)

Лекция №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.

Лекция №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.

Лекция №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.

Тема 2. Электромеханические свойства электроприводов постоянного тока (6 часов)

Лекция №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.

Лекция №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.

Лекция №6. 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. 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.

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.

Тема 3. Электромеханические свойства электроприводов переменного тока (10 часов)

Лекция №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.

Лекция №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.

Лекция №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.

Лекция №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.

Лекция №11. 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. Угловая характеристика синхронного двигателя. Приближенное уравнение динамической механической характеристики. Структурная схема синхронного электропривода. Влияние тока возбуждения на максимальный момент и коэффициент мощности двигателя.

Тема 4. Разомкнутая электромеханическая система как объект управления (4 часа)

Лекция №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.

Лекция №13. Электромеханические переходные процессы в электроприводе при $c_{12}=\infty$, $M_c=\text{const}$ и линейном изменении ω_0 в функции времени. Уравнения и их решения.

Переходные процессы пуска с реактивным и активным моментом на валу двигателя при линейном изменении ω_0 в функции времени. Переходные процессы реверса с активным моментом на валу двигателя при линейном изменении ω_0 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.

Тема 5. Энергетика электроприводов (4 часа)

Лекция №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.

Лекция №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.

В конспекте лекций по данной дисциплине (см. п.7.1) теоретический материал сопровождается примерами решения задач и контрольными вопросами по каждому разделу курса, что способствует успешному освоению излагаемого на лекциях материала.

Содержание лабораторных занятий

Лабораторные занятия

Лабораторные занятия проводятся в ауд. Б-105 на крупногабаритных стендах, предназначенных конкретно для каждой лабораторной работы, что исключает возможность выполнения работ фронтальным методом на основе уже прочитанного на лекциях материала.

В соответствии с этим в описаниях лабораторных работ (п.7.4) содержится теоретическая часть данной работы, изложенная, в основном, на базе уже известного студентам материала из курса «Электрические машины». Описание лабораторной установки для экспериментального снятия статических и динамических характеристик электроприводов, методические указания по их расчету и построению, указания по подготовке к работе, её выполнению, обработке результатов и оформлению отчета, а также по безопасному проведению работ приведены в п.7.4.

Лабораторные работы выполняются бригадами студентов в составе 2 – 3-х человек по специальному графику. На первом занятии преподаватель знакомит студентов с лабораторией, методикой аудиторной и самостоятельной работы студентов, правилами поведения в лаборатории. На этом же занятии проводится инструктаж по технике безопасности при работе в лаборатории, обращается внимание на возможные источники механических и электрических травм. Студенты, получившие инструктаж, расписываются в соответствующем журнале.

Выполнение каждой лабораторной работы включает следующие этапы:

- подготовку к работе;
- получение допуска к выполнению работы;
- проведение лабораторной работы;
- оформление отчета;
- защиту отчета.

Подготовка к работе предполагает изучение описания выполняемой по графику лабораторной работы, проведение предусмотренных в задании предварительных расчетов, четкое знание принципа работы схемы и ее отдельных узлов, а также порядка включения и отключения схемы и выполнения всех пунктов программы лабораторной работы. Студент может оценить степень своей подготовки, ответив на контрольные вопросы.

Перед выполнением работы проводится допуск, который имеет своей целью проверить готовность каждого студента к работе. При этом контролируется правильность предварительных расчетов, выполненных студентами при подготовке к работе, и проверяется знание методики ее проведения (назначение каждого аппарата и блока в схеме, умение пользоваться измерительными

приборами, ожидаемые пределы изменения измеряемых величин, последовательность операций при включении и отключении схемы и т.п.). Студенты, не подготовившиеся к очередному занятию, не допускаются к выполнению работы.

Отчет по лабораторной работе оформляется каждым студентом индивидуально. Защита отчета по выполненной лабораторной работе проводится в индивидуальном порядке на последующем занятии. Для поощрения активности работы студентов защита может проводиться и в день ее выполнения по одному отчету при условии правильности его оформления.

Для выполнения каждой лабораторной работы планируется 4 часа занятий в лаборатории и, кроме того, на оформление отчета о проделанной работе, подготовку к выполнению и защите лабораторной работы необходимо также около 4-х часов внеаудиторных занятий.

№ п/п	№ семестра	Раздел учебной дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, часы
1	6	Электромеханические свойства электроприводов постоянного тока	Работа №1 «Характеристики электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения»	(6 часов)*
2	6	Электромеханические свойства электроприводов постоянного тока	Работа №2 «Характеристики электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения»	(6 часов)
3	6	Электромеханические свойства электроприводов переменного тока	Работа №3 «Характеристики электропривода с асинхронным двигателем»	(6 часов)
4	6	Электромеханические свойства электроприводов переменного тока	Работа №4 «Характеристики электропривода с асинхронным двигателем в несимметричных режимах и при изменении напряжения питания»	(6 часов)
5	6	Электромеханические свойства электроприводов переменного тока	Работа №5 «Характеристики электропривода с асинхронным многоскоростным двигателем»	(6 часов)
6	6	Электромеханические свойства электроприводов переменного тока	Работа №6 «Характеристики асинхронного электропривода при частотном управлении»	(6 часов)

* 4 часа лабораторное занятие и 2 часа на защиту

Учебно-методическое и информационное обеспечение лабораторных работ: п.7.4.

Текущий контроль – устный опрос при проведении допуска к лабораторным работам, защита лабораторных работ.

Содержание практических занятий

Практические занятия проводятся в форме решения конкретных задач по всем разделам дисциплины в соответствии с 7.1

Темы практических занятий:

1. Для заданной кинематической схемы составить расчетную схему с приведением параметров элементов, сил и моментов к скорости двигателя.
2. По известной расчетной схеме двухмассовой механической части электропривода составить структурную схему и определить заданную передаточную функцию. Рассчитать и построить амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики.
3. Определить динамический коэффициент нагрузки передач при пуске с заданным ускорением электропривода с двухмассовой механической частью и зазором в кинематической цепи.

4. Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения рассчитать и построить естественные и регулировочные электромеханические $\omega=f(I)$ и механические $\omega=f(M)$ статические характеристики.

5. Для двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением рассчитать и построить естественную и искусственные механические характеристики для случаев:

- включения добавочного сопротивления $R_{доб}$ в якорную цепь;
- изменения напряжения $U_{я}$, подводимого к двигателю.

Обе характеристики должны пройти через общую точку с заданными координатами.

6. Рассчитать и построить искусственные характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения в режиме динамического торможения с самовозбуждением при $R_{доб}$ в якорной цепи и его отсутствии.

7. Для заданного трехфазного асинхронного двигателя рассчитать и построить естественные статические характеристики $\omega(I_2)$ и $\omega(M)$.

8. Для заданного трехфазного асинхронного двигателя:

- рассчитать и построить *реостатную* механическую характеристику $\omega(M)$, проходящую своей рабочей частью через точку с координатами $[M_c, \omega_c]$;
- рассчитать и построить *искусственную* характеристику двигателя $\omega(M)$ при заданных значениях $U_{1\phi}$ и f_1 .

9. Для трехфазного асинхронного двигателя изобразить линеаризованную структурную схему и определить ее параметры.

10. Для двигателя с линейной механической характеристикой рассчитать с учетом электромагнитной инерции переходный процесс при скачкообразном приложении (снятии) нагрузки и построить графики $\omega(t)$, $M(t)$ и динамическую характеристику $\omega(M)$ (*двигатель работает на естественной характеристике*).

11. Для асинхронного двигателя на основе *линеаризованной механической характеристики* рассчитать и построить *пусковую диаграмму* в три ступени при $M_c=0,8M_n$, а также графики переходных процессов $\omega(t)$, $M(t)$ и динамические механические характеристики $\omega(M)$.

Переходный процесс разбега на последнем участке без добавочных сопротивлений рассчитать с учетом электромагнитной постоянной времени двигателя.

12. Для заданного двигателя постоянного тока независимого возбуждения определить номинальные потери и коэффициент потерь α .

13. Определить номинальные потери и коэффициент потерь α для асинхронного двигателя, вычислить КПД двигателя на реостатной характеристике в точке с заданными координатами.

Учебно-методическое и информационное обеспечение практических занятий: п.7.1 – 7.3.

Текущий контроль – устный опрос по теме при подготовке к практическому занятию и при решении конкретных задач.

Самостоятельная работа студента

№ п/п	№ семестра	Раздел, тема учебной дисциплины	Виды самостоятельной работы студента	Всего часов
1	6	Механика электропривода	Подготовка к практическим занятиям. Выполнение и подготовка к защите задачи №1 расчетно-графической работы.	2 10
2	6	Электромеханические свойства электроприводов постоянного тока	Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к выполнению, оформление и подготовка к защите лабораторных работ №1, №2	2 10

3	6	Электромеханические свойства электроприводов переменного тока	Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к выполнению, оформлению и подготовка к защите лабораторных работ №3, №4. Выполнение и подготовка к защите задачи №2 расчетно-графической работы.	2 10
4	6	Электромеханические переходные процессы разомкнутой системы электропривода	Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к выполнению, оформлению и подготовка к защите лабораторных работ №5, №6	2 10
5	6	Энергетические показатели электроприводов	Подготовка к практическим занятиям. Выполнение и подготовка к защите задачи №3 расчетно-графической работы.	2 10
6	6	Расчет мощности и выбор двигателя	Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к защите лабораторных работ	6 10
			Итого:	72

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 $W(p)=\dots\dots$. 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 $\alpha(I)$ и механическую $\omega(M)$ статические характеристики двигателя.

2.3. Рассчитать и построить искусственные характеристики $\alpha(I)$ 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 $\alpha(I)$ и $\omega(M)$ для случая прохождения механической характеристики через точку с координатами $[\omega_c, M_c]$.

2.5. Рассчитать и построить реостатные характеристики $\alpha(I)$ 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 $M_c=\dots\dots$ и построить графики $\alpha(t)$, $M(t)$ (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.

Учебно-методическое обеспечение расчетно-графической работы п. 7.3.

Интерактивный занятия – бригадный метод выполнения лабораторных работ (22 часа).

Промежуточная аттестация по дисциплине: экзамен

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом.

Экзамен проводится в соответствии с Положением о зачетной и экзаменационной сессиях в НИУ МЭИ и инструктивным письмом от 14.05.2012 г. № И-23.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Для обеспечения самостоятельной работы разработаны:

- демонстрационные слайды лекций по дисциплине,
- методические указания по самостоятельной работе при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам, выполнении расчетно-графической работы п.7.1-п.7.4.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

При освоении дисциплины формируются следующие компетенции: ПК-6, ПК-7.

Указанные компетенции формируются в соответствии со следующими этапами:

1. Формирование и развитие теоретических знаний, предусмотренных указанными компетенциями (лекционные занятия, самостоятельная работа студентов).
2. Приобретение и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями (практические занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа студентов).
3. Закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями, в ходе защит лабораторных работ, а также решения конкретных технических задач на практических занятиях, успешной сдачи экзамена.

6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описания шкал оценивания

Сформированность компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехуровневой шкале:

- пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;

- продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенции по завершении освоения дисциплины;

- эталонный уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенции и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

При достаточном качестве освоения более 80% приведенных знаний, умений и навыков преподаватель оценивает освоение данной компетенции в рамках настоящей дисциплины на эталонном уровне, при освоении более 60% приведенных знаний, умений и навыков – на продвинутом, при освоении более 40% приведенных знаний, умений и навыков - на пороговом уровне. В противном случае компетенция в рамках настоящей дисциплины считается неосвоенной.

Уровень сформированности каждой компетенции на различных этапах ее формирования в процессе освоения данной дисциплины оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и представлен различными видами оценочных средств.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенции ПК-6 «способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности» преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – устных опросах, защитах лабораторных работ, ответах на практических занятиях.

Принимается во внимание

знание обучающимися:

– режимов работы электроэнергетических установок различного назначения, в частности, физических свойств механической и электрической частей электропривода, методов анализа режимов работы электропривода как единой сложной электромеханической системы;

– состава оборудования и его параметров, принципов управления для различных типов электроприводов;

наличие умения:

– рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, анализировать влияние изменения параметров и внешних воздействий на режимы работы электропривода;

присутствие навыка:

– расчета режимов работы электроэнергетических установок различного назначения.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции в процессе выполнения и защиты лабораторных работ, расчетно-графических работ, в результате выполнения заданий на практических занятиях.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-6 «способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности» в процессе защиты лабораторных работ, как формы текущего контроля. На защите соответствующих лабораторных работ задается 2 вопроса из примерного перечня:

1. Что понимается под динамической механической характеристикой электропривода?
2. Напишите систему уравнений динамической механической характеристики электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения.
3. Напишите уравнения статических характеристик электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения.
4. Какие характеристики называются естественными?
5. Какие тормозные режимы работы электропривода вы знаете?
6. Изобразите статические регулировочные характеристики электропривода при изменении параметров $R_{я\Sigma}$, Φ и U .

7. Напишите уравнения статических характеристик электропривода в системе Г-Д; при шунтировании якоря.
8. Объясните режим работы электропривода при шунтировании якоря для точки, где величина R_{Π} не влияет на работу двигателя; для точки где величина $R_{\text{ш}}$ не влияет на работу двигателя.
9. Какими уравнениями описывается динамическая механическая характеристика электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения?
10. Напишите уравнения статических характеристик электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения.
11. Изобразите статические характеристики электропривода при изменении $R_{\text{я}\Sigma}$. Как рассчитываются реостатные характеристики?
12. Какой вид имеют характеристики при шунтировании обмотки возбуждения? При шунтировании якоря?
13. В каких тормозных режимах может работать электропривод с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения?
14. При каких условиях возможен процесс динамического торможения с самовозбуждением?
15. Нарисуйте характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения в режимах динамического торможения с независимым возбуждением и с самовозбуждением.
16. Какими линеаризованными уравнениями описывается динамическая механическая характеристика асинхронного электропривода при работе с $s < s_k$?
17. Нарисуйте схему замещения асинхронного двигателя.
18. Как получить выражение для электромагнитного момента асинхронного двигателя исходя из схемы замещения?
19. Напишите выражения для критического момента M_k и критического скольжения s_k ; формулу Клосса.
20. Какие тормозные режимы асинхронного электропривода Вы знаете?
21. Как влияет насыщение магнитной цепи на механические характеристики асинхронного двигателя в режиме динамического торможения?
22. Как реализуется режим динамического торможения с самовозбуждением?
23. Каким образом можно изменить механическую характеристику в режиме динамического торможения с самовозбуждением?
24. Почему многоскоростные асинхронные двигатели выполняются с короткозамкнутым, а не с фазным ротором?
25. Какое условие необходимо соблюсти при переключении секционированной обмотки, чтобы изменилось число пар полюсов?
26. Как изменяется критический момент двигателя при переключении обмотки статора с треугольника на звезду; двойную звезду?
27. Как изменяется допустимый по нагреву момент при переключении обмотки статора со звезды на треугольник; двойную звезду?
28. Каким образом производится маркировка выводов обмоток двигателя?
29. Почему при частотном управлении при изменении частоты необходимо изменять и величину питающего двигателя напряжения?
30. Выведите основной закон изменения напряжения при частотном управлении асинхронным двигателем.
31. Какой вид имеют механические характеристики асинхронного двигателя при частотном управлении для производственных механизмов с различными механическими характеристиками?
32. Почему при выполнении закона $(U/f)=const$ и $M_c=const$ в реальных условиях перегрузочная способность двигателя не остается постоянной?

Полный ответ на один вопрос соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на один и частичный ответ на второй – продвинутому уровню; при полном ответе на два вопроса – эталонному уровню).

Оценивается также активность работы студента на практических занятиях, глубина ответов студента «у доски» при устных опросах в процессе выполнения заданий к каждому практическому занятию.

Способность называть при устном ответе основные расчетные формулы соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, в дополнение к пороговому самостоятельное решение части вопросов – соответствует продвинутому уровню; в дополнение к продвинутому – способность рассчитать задачу в полном объеме с соответствующими пояснениями соответствует эталонному уровню.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенции ПК-7 «готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике» преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по расчетно-графическим работам. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – защитах расчетно-графических работ.

Принимается во внимание

знание обучающимися:

– схем электроэнергетических объектов, конкретно, схем включения электроприводов различного типа и методов расчета характеристик и энергетических показателей электроприводов в разных режимах;

наличие умения:

– объяснять характер процессов, пользуясь для этого физическими соображениями и важнейшими математическими соотношениями;

присутствие навыка:

– расчета статических характеристик, переходных процессов и энергетических показателей электропривода с применением компьютерной техники.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-7 «готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике» в процессе защиты расчетно-графической работы, как формы текущего контроля.

В процессе защиты расчетно-графической работы по основным разделам курса «Электрический привод» – механике электропривода, электромеханическим свойствам электроприводов постоянного и переменного тока, переходным процессам в разомкнутых системах электропривода (Методические указания к выполнению расчетного задания по курсу «Электрический привод» / Данилов П.Е., Рожков В.В. 2-е изд., испр. – Смоленск, 2013. – 24 с.) студенту задается 2 вопроса из следующего примерного перечня:

1. Изобразите структурную схему современного автоматизированного электропривода, дайте краткую характеристику ее элементов.
2. Что представляет собой жесткость упругого механического звена при вращательном и поступательном движении? Какова ее размерность?
3. С какой целью и как осуществляется приведение параметров элементов кинематической цепи к одной расчетной скорости?
4. Чем отличаются линейные кинематические связи от нелинейных?
5. Как определяется суммарный момент инерции электропривода при одномассовой механической части?

6. Что представляет собой статический момент M_c и как он определяется в общем случае? При использовании КПД механической передачи?

7. Напишите уравнение движения электропривода при одномассовой механической части с линейными и нелинейными кинематическими связями. Какое существует правило для определения знаков у моментов M и M_c в уравнении движения?

8. Как записываются уравнения движения при двух- и трехмассовой схемах механической части электропривода?

9. Какие существуют режимы движения электропривода? Что представляет собой механическая характеристика исполнительного механизма? При каком условии возможен статический режим работы электропривода?

10. При каком условии возможна устойчивая работа электропривода в статическом режиме? Каков критерий статической устойчивости?

11. Как изменяется динамическая нагрузка передач с упругостью в кинематической цепи при увеличении жесткости упругого элемента?

12. Как изменяется динамическая нагрузка передач при увеличении зазора в кинематической цепи?

13. Каким образом можно уменьшить динамическую нагрузку передач с кинематическим зазором?

14. Изобразите схему электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения. Напишите уравнения, описывающие динамические режимы и статические характеристики электропривода.

15. Какие характеристики называются естественными, искусственными?

16. В каких квадрантах плоскости M, ω изображаются механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения в двигательном режиме? В генераторном режиме с рекуперацией энергии в сеть? В режиме противовключения? В режиме динамического торможения?

17. Как изменяется скорость идеального холостого хода двигателя постоянного тока независимого возбуждения при уменьшении напряжения на якоре? При уменьшении напряжения на обмотке возбуждения? При включении добавочного сопротивления в якорную цепь? При увеличении добавочного сопротивления в цепи обмотки возбуждения?

18. По какой причине необходимо ограничивать величину тока якоря?

19. Как изменяется ток короткого замыкания двигателя постоянного тока независимого возбуждения при уменьшении тока в обмотке возбуждения? При включении добавочного сопротивления в якорную цепь?

20. Двухмассовая система без учета естественного демпфирования является консервативным колебательным звеном. Как изменятся колебания в системе, если двигатель (первую массу), подключить к сети?

21. Какими уравнениями описывается динамическая механическая характеристика электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения? Напишите уравнения статических характеристик электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения.

22. Какой вид имеют регулировочные характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и как они рассчитываются?

23. В каких тормозных режимах может работать электропривод с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения?

24. При каких условиях возможно динамическое торможение с самовозбуждением? Изобразите механические характеристики в этом режиме.

25. Как изменится скорость двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при $M_c = \text{const}$ и увеличении добавочного сопротивления в якорной цепи в двигательном режиме? В режиме динамического торможения с самовозбуждением?

26. Какими уравнениями описывается динамическая механическая характеристика электропривода с двигателем смешанного возбуждения?
27. Какие режимы работы и регулировочные характеристики имеет двигатель постоянного тока смешанного возбуждения?
28. Как получить уравнения механической и электромеханической характеристик асинхронного двигателя на основе Г-образной схемы замещения?
29. Что представляет собой динамическое торможение с независимым возбуждением асинхронного двигателя? Каким образом осуществляется динамическое торможение с самовозбуждением?
30. Изобразите регулировочные характеристики асинхронного электропривода при симметричном включении активного или индуктивного сопротивления в роторную или статорную цепь.
31. Каковы механические характеристики асинхронного электропривода при различных законах частотного регулирования?
32. Какими уравнениями описываются электромеханические переходные процессы в электроприводе с линейной механической характеристикой двигателя при $c_{12}=\infty$, $M_c=\text{const}$ и скачкообразном изменении управляющего или возмущающего воздействия? Изобразите переходные процессы на естественной характеристике при набросе и сбросе нагрузки M_c скачком.
33. Какими уравнениями описываются переходные процессы по линейным (линеаризованным) реостатным механическим характеристикам? Изобразите графики $M(t)$ и $\omega(t)$ пуска, торможения и реверсирования электропривода по реостатным характеристикам.
34. В чем заключаются особенности переходных процессов электропривода с асинхронным короткозамкнутым двигателем? Какими способами осуществляется подавление колебаний электромагнитного момента двигателя в переходных режимах?

Полный ответ на один вопрос соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на один и частичный ответ на второй – продвинутому уровню; при полном ответе на два вопроса – эталонному уровню).

Сформированность уровня компетенций не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

Формой промежуточной аттестации по данной дисциплине является экзамен, оцениваемый по принятой в НИУ «МЭИ» четырехбалльной системе: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Экзамен по дисциплине «Электрический привод» проводится в устной форме.

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

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший 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; проявивший 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 практические задание

Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнившему практические задание, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по

профессии, справляющийся с выполнением заданий, знакомы с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившим погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившим другие практические задания из того же раздела дисциплины.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, 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 «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закреплённых за данной дисциплиной).

Оценка «неудовлетворительно» выставляется также, если студент: после начала экзамена отказался его сдавать или нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.

В зачетную книжку студента и приложение к диплому выносятся оценка экзамена по дисциплине за 6 семестр.

6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закреплёнными 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 $M_{\text{мех}}$, 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 $M_{\text{мех}}$, 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 $R_{\text{ш}}=0$?
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 $(T_p p + 1)M = \beta(\omega_0 - \omega)$ описывает динамическую механическую характеристику какого двигателя?
18. Как изменяются потери в переходных режимах при уменьшении суммарного приведенного момента инерции электропривода?

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 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. 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.

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. Регулировочные (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 реактив-

ным 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.

6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, изложены в учебных пособиях и методических рекомендациях по изучению курса «Электрический привод», которые приведены в методические рекомендации к выполнению и защите лабораторных работ, по выполнению расчетно-графических работ и заданий на самостоятельную работу (Приложение к настоящей РПД).

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Основная литература:

1. Епифанов А. П. Электропривод [Электронный ресурс] : учебник / Епифанов А. П., Малайчук Л. М., Гуцинский А. Г. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2012. — 400 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3812 — Загл. с экрана.

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 — Загл. с экрана.

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 — Загл. с экрана.

б) дополнительная литература:

Учебные пособия:

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, РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 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.
4. **Методические указания** к выполнению лабораторных работ по курсу «Электрический привод» [Текст]: методические указания / П.Е. Данилов. – Смоленск: РИО филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2016. – 60.с.

Технические и профессиональные справочники, обеспечивающие практическую деятельность по дисциплине:

1. Машиностроение. Энциклопедия/ред. совет: К.В.Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2 / Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.: ил.
2. Кисаримов Р.А. Электропривод: справочник. – М.: ИП Радио Софт, 2008. – 352 с.: ил.
3. Данилов П.Е. Крановый асинхронный электропривод с импульсным регулятором в роторной цепи. Учеб. пособие.– Смоленск: СФМЭИ, 2005. – 92 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурс

Материалы кафедры автоматизированного электропривода МЭИ www.aep.mpei.ac.ru.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» необходимых для освоения дисциплины

1. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о вакуумном выключателе. – Германия, 2007-2015. – Режим доступа: <http://forca.ru/v/sobi2Task,sobi2Details/catid,0/sobi2Id,49/> – Загл. с экрана.
2. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о вакуумных контакторах. – Санкт Петербург, 2006-2015. – Режим доступа: http://ecovacuum.ru/contactorkvt_6_400.html – Загл. с экрана.
3. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о датчике напряжения. – Москва, 2004-2015. – Режим доступа: <http://www.sensorica.ru/pdf/lv25-p-sp20.pdf> – Загл. с экрана.
4. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о датчике тока. – Москва, 2004-2015. – Режим доступа: <http://www.sensorica.ru/pdf/lt300-s-sp50.pdf> – Загл. с экрана.

5. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о дросселях. – Москва, 2001-2015. – Режим доступа: <http://www.ielectro.ru/gelem390418.html> – Загл. с экрана.
6. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о конденсаторах. – Москва, 2010-2015. – Режим доступа: <http://www.elcod.spb.ru/catalog/k75-40.pdf> – Загл. с экрана.
7. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о конденсаторах. – Санкт Петербург, 2001-2015. – Режим доступа: <http://www.eandc.ru/catalog/detail.php?ID=8443> – Загл. с экрана.
8. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о контакторе. – Германия, 2007-2015. – Режим доступа: <http://forca.ru/spravka/nizkovoltnoe-oborudovanie/nch8-kontaktor-chint.html> – Загл. с экрана.
9. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о тиристорах. – Иркутск, 2009-2015. – Режим доступа: <http://www.fotorele.net/pdf/IGBT%20&%20SFRD.pdf> – Загл. с экрана.
10. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о транзисторах. – Москва, 2005-2015. – Режим доступа: <http://www.fotorele.net/pdf/IGBT%20&%20SFRD.pdf> – Загл. с экрана.
11. Электронный сайт приборов и электронных компонентов [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о трансформаторах. – Москва, 2013-2015. – Режим доступа: <http://surz.ru/product/transformatory/23/index.php> – Загл. с экрана.
12. Электронный сайт, информационный портал [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о двигателе. – Краснодар, 2002-2015. – Режим доступа: <http://www.sez.ru/pdf/sez.pdf> – Загл. с экрана.
13. Электронный сайт, информационный портал [Электронный ресурс]: база данных содержит информацию о диодах. – Саранск, 1997-2015. – Режим доступа: http://www.moris.ru/~martin/spp/new_prod/dl%20dtu/dl%20tdu.htm – Загл. с экрана.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина предусматривает лекции один раз в неделю, практические занятия один раз в неделю, лабораторные работы один раз в две недели в 6-м семестре. Изучение курса завершается экзаменом в 6 семестре.

Успешное изучение курса требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях и лабораторных работах, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Во время **лекции** студент должен вести краткий конспект.

Работа с конспектом лекций предполагает просмотр конспекта в тот же день после занятий. При этом необходимо пометить материалы конспекта, которые вызывают затруднения для понимания. При этом обучающийся должен стараться найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендуемую литературу. Если ему самостоятельно не удалось разобраться в материале, необходимо сформулировать вопросы и обратиться за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции.

Обучающемуся необходимо регулярно отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Практические (семинарские) занятия составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Основная цель проведения практических (семинарских) занятий - формирование у студентов аналитического, творческого мышления путем приобретения практических навыков.

Методические указания к практическим (семинарским) занятиям по дисциплине наряду с ра-

бочей программой и графиком учебного процесса относятся к методическим документам, определяющим уровень организации и качества образовательного процесса.

Содержание практических (семинарских) занятий фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

Важнейшей составляющей любой формы практических занятий являются упражнения (задания). Основа в упражнении - пример, который разбирается с позиций теории, развитой в лекции. Как правило, основное внимание уделяется формированию конкретных умений, навыков, что и определяет содержание деятельности студентов - решение задач, графические работы, уточнение категорий и понятий науки, являющихся предпосылкой правильного мышления и речи.

Практические (семинарские) занятия выполняют следующие задачи:

стимулируют регулярное изучение рекомендуемой литературы, а также внимательное отношение к лекционному курсу;

закрепляют знания, полученные в процессе лекционного обучения и самостоятельной работы над литературой;

расширяют объём профессионально значимых знаний, умений, навыков;

позволяют проверить правильность ранее полученных знаний;

прививают навыки самостоятельного мышления, устного выступления;

способствуют свободному оперированию терминологией;

предоставляют преподавателю возможность систематически контролировать уровень самостоятельной работы студентов.

При подготовке к **практическим занятиям** необходимо просмотреть конспекты лекций и методические указания, рекомендованную литературу по данной теме; подготовиться к ответу на контрольные вопросы.

За 10 мин до окончания занятия преподаватель проверяет объём выполненной на занятии работы и отмечает результат в рабочем журнале.

Оставшиеся невыполненными пункты задания практического занятия студент обязан доделать самостоятельно.

После проверки отчета преподаватель может проводить устный или письменный опрос студентов для контроля усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия (студенты должны знать смысл полученных ими результатов и ответы на контрольные вопросы). По результатам проверки отчета и опроса выставляется оценка за практическое занятие.

Лабораторные работы составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Они направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений.

Выполнение студентами лабораторных работ направлено на:

обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;

формирование необходимых профессиональных умений и навыков;

Дисциплины, по которым планируются лабораторные работы и их объемы, определяются рабочими учебными планами.

Методические указания по проведению лабораторных работ разрабатываются на срок действия РПД (ПП) и включают:

заглавие, в котором указывается вид работы (лабораторная), ее порядковый номер, объем в часах и наименование;

цель работы;

предмет и содержание работы;

оборудование, технические средства, инструмент;

порядок (последовательность) выполнения работы;

правила техники безопасности и охраны труда по данной работе (по необходимости);

общие правила к оформлению работы;
контрольные вопросы и задания;
список литературы (по необходимости).

Содержание лабораторных работ фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

При планировании лабораторных работ следует учитывать, что наряду с ведущей целью - подтверждением теоретических положений - в ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с лабораторным оборудованием, аппаратурой и пр., которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Состав заданий для лабораторной работы должен быть спланирован с таким расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть качественно выполнены большинством студентов.

Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

Выполнению лабораторных работ предшествует проверка знаний студентов – их теоретической готовности к выполнению задания.

Помимо собственно выполнения работы для каждой лабораторной работы предусмотрена процедура защиты, в ходе которой преподаватель проводит устный или письменный опрос студентов для контроля понимания выполненных ими измерений, правильной интерпретации полученных результатов и усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия.

При подготовке к экзамену в дополнение к изучению конспектов лекций, учебных пособий и слайдов, необходимо пользоваться учебной литературой, рекомендованной к настоящей программе. При подготовке к экзамену нужно изучить теорию: определения всех понятий и подходы к оцениванию до состояния понимания материала и самостоятельно решить по несколько типовых задач из каждой темы. При решении задач всегда необходимо уметь качественно интерпретировать итог решения.

Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине играет важную роль в ходе всего учебного процесса. Методические материалы и рекомендации для обеспечения СРС готовятся преподавателем и выдаются студенту.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

При проведении лекционных занятий предусматривается использование систем мультимедиа.

При выполнении расчетно-графической работы рекомендуется использование системы компьютерной математики MathCad.

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия:

Аудитория, оснащенная презентационной мультимедийной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Лабораторные работы по данной дисциплине проводятся в учебной лаб. Б-105.

В основное оборудование указанной лаборатории входит оборудование, необходимое для проведения лабораторных работ по дисциплине «Электрический привод».

Автор
д-р техн. наук, профессор



П.Е. Данилов

Зав. кафедрой ЭМС
канд. техн. наук, доцент



В.В. Рожков

Программа одобрена на заседании кафедры ЭМС от 07.09.2016 года, протокол №1.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Но- мер изме- мене- 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
	изме- нен- ных	заме- нен- ных	но- вых	анну- лиро- ванн- ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10