

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Электрический привод»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Направленность (профиль)
образовательной
программы:** Электроснабжение

Квалификация выпускника: «Бакалавр»

Выпускающая кафедра: Общенаучных дисциплин

Форма обучения: Очная, очно-заочная, заочная

Курс: 4

Семестр: 6

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 3Е

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен: 6 семестр

Курсовой работа: 6 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (6-го семестра учебного плана на всех формах обучения) разбито на 6 учебных разделов . В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические занятия и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, практическим занятиям, защиты курсового проекта и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий	Рубежный			Итоговый	
	ТО	ОПЗ	ОЛР	КР/Т	Курсовой проект	Экзамен
	Усвоенные знания					
3.1 Знать назначение, элементную базу, характеристики и регулировочные свойства электроприводов с двигателями постоянного и переменного тока	ТО			Т		ТВ
3.2 Знать схемотехнические решения и методы стандартных испытаний электроприводов различного назначения	ТО			Т		ТВ
3.3 Знать математическое описание переходных и установившихся процессов электропривода	ТО			Т		ТВ
3.4 Знать основные методы и принципы расчёта потерь энергии и энергетических показателей систем электропривода	ТО			Т		ТВ
3.5 Знать устройство, основные понятия, принципы, параметры, электромеханические свойства и характеристики систем электропривода для осуществления сравнительного анализа и выбора электромеханических и преобразовательных	ТО			Т		ТВ

устройств						
3.6 Знать состав и требования, предъявляемые к отчётной технической документации на различных этапах проектирования систем электропривода	ТО			Т		ТВ
Освоенные умения						
У.1 Уметь применять инженерные методы расчета и выбора элементов, входящих в состав разрабатываемой системы электропривода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	КР	3	ПЗ
У.2 Уметь производить разработку электрических схем (функциональная схема, принципиальная схема, схема внешних подключений) проектируемого электропривода на основе выбранной элементной базы			ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3	КР		ПЗ
У.3 Уметь применять, эксплуатировать и производить выбор электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1	КР	3	ПЗ
У.4 Уметь формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде научно-технического отчёта с его публичной защитой			ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	КР	3	ПЗ
У.5 Уметь производить анализ технических требований, предъявляемых к проектируемому электроприводу, и на основании проведенного анализа принимать рациональные схемотехнические решения по его проектированию		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	КР	3	ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 Владеть методами расчета переходных и установившихся процессов в системах электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	КР	3	КЗ
В.2 Владеть навыками проведения стандартных испытаний систем электропривода			ОЛР-4	КР		КЗ
В.3 Владеть навыками нахождения и устранения неисправностей в несложных электрических схемах электромеханических систем			ОЛР-2 ОЛР-3	КР		КЗ
В.4 Владеть методами расчета, проектирования и конструирования систем электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3	КР	3	КЗ
В.5 Владеть методами расчета параметров электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3	КР	3	КЗ
В.6 Владеть навыками исследовательской работы и методами анализа режимов работы электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-4	КР	3	КЗ
В.7 Владеть навыками осуществления выбора мощности и типа электродвигателя и управляемого преобразователя для систем электропривода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3		КР	3	КЗ
В.8 Владеть навыками использования основных программных и технических средств предпроектного обследования и проектирования объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования				КР	3	КЗ

ТО – теоретический опрос (коллоквиум); ОПЗ – отчет по практическому занятию; ОЛР – отчет по лабораторной работе; ТВ – теоретический вопрос; 3 – защита курсового проекта; КЗ – комплексное задание экзамена.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в форме защиты курсовой работы и экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ, практических занятий, рубежных контрольных работ и рубежного тестирования (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 6 лабораторные работы. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2. Защита практических занятий

Всего запланировано 7 практических занятия. Типовые темы практических занятий приведены в РПД.

Защита практического занятия проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.3. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины.

Типовые задания первой КР - Приложение 2)

Типовые задания второй КР (Приложение 2)

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.4. Рубежное тестирование

Запланировано 3 рубежных тестирования (Т) после освоения студентами учебных модулей дисциплины.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежного тестирования приведены в общей части ФОС образовательной программы.

Типовые задания первого тестирования:

1. Как называется неподвижная часть электрическая машина п.т.?

- а) ярма;
- б) статор;
- в) индуктор;
- г) полюс;
- д) все ответы правильны;

2. Как называется подвижная часть электрическая машина п.т.?

- а) полюс;
- б) ярма;
- в) ротор;
- г) статор;
- д) все ответы правильны;

3. Машины постоянного тока с независимым возбуждением - это?

- а) электрическая цепь обмотки возбуждения (ОВ) является независимой от силовой цепи ротора ЭД. ;
- б) подвижная часть электрическая машина п.т;

- в) совокупность управляющих и информационных устройств и устройств;
- г) неподвижная часть электрическая машина п.т;
- д) все ответы правильны;

4. Электродвигатели с последовательным возбуждением – это?

- а) электрическая цепь обмотки возбуждения (ОВ) является независимой от силовой цепи ротора ЭД;
- б) движущийся элемент рабочей машины, выполняющий технологическую операцию;
- в) обмотка статора включается последовательно с обмоткой ротора, что обуславливает зависимость магнитного потока от тока якоря;
- г) характеризуются включением ОВ параллельно с цепью якоря ЭД;
- д) все ответы правильны;

5. Электродвигатели с параллельным возбуждением – это?

- а) обмотка статора включается последовательно с обмоткой ротора, что обуславливает зависимость магнитного потока от тока якоря;
- б) характеризуются включением ОВ параллельно с цепью якоря ЭД;
- в) движущийся элемент рабочей машины, выполняющий технологическую операцию;
- г) электрическая цепь обмотки возбуждения (ОВ) является независимой от силовой цепи ротора ЭД;
- д) все ответы правильны;

6. Двигатель последовательным возбуждением это ..

7. Электродвигатели со смешанным возбуждением – это?

8. Механическими характеристиками (МХ) двигателя?

9. Электромеханическими характеристиками (ЭМХ) двигателя?

10. Двигатели смещенного возбуждения какие обмотки имеет?

11. Что нужно сделать чтобы двигатель смещенного возбуждения работал в режиме против включения?

12. Какие режимы работы асинхронного двигателя знаете?

13. Какие методы изменения скорости двигателя постоянного тока знаете ?

14. Что нужно сделать чтобы двигатель смещенного возбуждения работал в режиме против включения?

15. Механическая передача – это?
16. Если поменять полюсь якорной цепи двигателя постоянного тока (+,-, на -,+,) что произойдет?
17. Какие режимы работы электрических двигателей знаете?
18. Из чего состоит передаточное устройство ?
19. Что определяют для определения мощности двигателя?
20. Для чего нужен метод эквивалентного тока ?

Ответы к тесту 1:

1	б
2	в
3	а
4	в
5	б
6	Обмотка последовательным возбуждением;
7	компромиссным вариантом ЭД с последовательным и параллельным возбуждением
8	называются зависимости установившейся частоты вращения от вращающего момента
9	называются зависимости установившейся частоты вращения от тока
10	Параллельного и последовательного возбуждения;
11	Якорную цепь обратно включают в сеть питания
12	Рекуперативный, динамический, противовключения
13	Магнитный поток, напряжения, параметры управления
14	Якорную цепь обратно включают в сеть питания
15	это механический преобразователь, предназначенный для передачи механической энергии от ЭД к исполнительному органу рабочей машины и согласованию вида и скоростей их движения;
16	Двигатель работает в реверсивном режиме (вращается наоборот);
17	Продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный
18	из механической передачи и устройства сопряжения;
19	Эквивалентную мощность потребления
20	Момент;

Типовые задания второго тестирования:

1. Электропривод состоит из каких основных частей, как...

- а. силовая часть и система управление
- б. механическая и динамическая
- в. система регулирования
- г. система устойчивости

2. Многодвигательный электропривод - это...

- а. электропривод, который с помощью одного электродвигателя приводит в движение отдельную машину
- б. электропривод, который состоит из нескольких одиночных электроприводов, каждый из которых предназначен для приведения в действие отдельных элементов производственного агрегата
- в. трансмиссионный электропривод
- г. электропривод, который служат для регулирования скорости

3. Динамическое торможение ещё называется...

- а. торможения связанная со скоростью
- б. торможения связанная с пусковым моментом
- в. кинематическое торможения
- г. реостатное

4. Экономичность регулируемого привода характеризуется...

- а. затратами на его сооружения и эксплуатацию
- б. затратами на его транспортировку
- в. затратами на дополнительные приборы
- г. не имеет никакие затраты

5. Плавность регулирования характеризуется...

- а. числом устойчивых скоростей
- б. числом устойчивых моментов
- в. числом устойчивых сил
- г. устойчивостью по всем характеристикам

6. Диапазон регулирования зависит от...

7. Количество тепла обозначается...

8. Активные моменты могут быть как движущими и ...

9. Реактивные моменты всегда направлены...

10. Электродвигатель предназначен для...

11. В электроприводах используют двигатели...

12. Преобразователь в электроприводе предназначен для...

13. В качестве преобразователя в электроприводах используют...

14. Управляющему устройству электропривода не свойственна следующая функция...

15. Передаточное устройство предназначено для...

16. Сколько групп различают в механизме?

17. К первой группе механизмов относятся?

18. Третья группа механизмов – это?

19. Четвертая группа механизмов – это?

20. Пятая группа механизмов – это?

Ответы к тесту 2:

1	а
2	б
3	г
4	а
5	а
6	отнагрузки
7	Q
8	тормозными
9	противдвижение
10	преобразования электрической энергии в механическую
11	постоянного и переменного тока
12	преобразования параметров электрической энергии (тока, напряжения, частоты)
13	все вышеперечисленные ответы
14	передача механической энергии рабочей машине
15	передачи механической энергии от электродвигательного устройства к исполнительным органам рабочей машины
16	5 групп;
17	механизмы, у которых статический момент не зависит от скорости вращения, то есть $M_c(\omega) = \text{const}$;
18	группа машин, у которых статический момент является функцией угла поворота вала РМ α , то есть $M_c = f(\alpha)$;
19	группа рабочих машин, у которых M_c зависит одновременно и от угла поворота, и от скорости движения, т.е. $M_c = f(\alpha, \omega)$;
20	группа РМ, у которых статический момент изменяется случайным образом во времени;

Типовые задания третьего (итогового) тестирования:

1. Что определяют методом эквивалентного момента?

- а) Момент;
- б) Мощность двигателя;
- в) Ток;
- г) Сопротивления;
- д) все ответы правильны;

2. Для уменьшения скорости двигателя что делают?

- а) Ни чего не делают;
- б) Уменьшают сопротивления;
- в) Уменьшают тока якоря;
- г) Увеличивают сопротивления якорной цепи;
- д) все ответы правильны;

3. Двигатель последовательным возбуждением это ...?

- а) Без обмоток;
- б) Обмотка параллельным возбуждением;
- в) Обмотка последовательным возбуждением;
- г) Обмотка статора;
- д) все ответы правильны;

4. Как соединяется обмотка возбуждения двигателя с независимым возбуждением?

- а) Соединяется к отдельному источнику питания;
- б) Соединяется только генераторам;
- в) Соединяется только параллельном виде;
- г) Соединяется волновистом виде;
- д) все ответы правильны;

5. Характеристики двигателя называются искусственными при...?

- а) Изменение номинальных питающих параметры;
- б) Изменение напряжение и ток;
- в) Изменение момент;
- г) Все ответы правильны;
- д) Все ответы неправильны;

6. Мс-это момент ...?

7. J- это момент ...?

8. Что создает обмотка возбуждения двигателя постоянного тока ?
9. Характеристики называют естественными, если ?
10. Что такое электромеханическая характеристика двигателя?
11. Что такое механическая характеристика двигателя?
12. $M=(\Phi_{\text{пар}}+\Phi_{\text{пос}}) C_m$ - это момент двигателя постоянного тока ...?
13. $E_a=(\Phi_{\text{пар}}+\Phi_{\text{пос}})I_a$ - это ...?
14. Обмотка какого двигателя соединяется параллельно и последовательно ?
15. Впервые кому в каком году удалось создать электродвигатель постоянного тока?
16. Какой год считается годом рождения электро – привода?
17. Кто разработал систему «инжектор-двигатель»-я для рулевого управления?
18. В каком году кто построил однофазный синхронный электродвигатель?
19. Когда была построена первая линия электропередачи протяженностью 57 км и мощностью 3 кВт?
20. Первые 3-х фазные ЭП переменного тока когда были установлены?

Ответы к тесту 3:

1	в
2	г
3	в
4	а
5	а
6	Статический;
7	Инерции;
8	Магнитное поле и поток;
9	Они получены при номинальных условиях питания;
10	зависимости установившейся частоты вращения от тока
11	зависимости установившейся частоты вращения от вращающего момента – $n = f_1(M)$ или $\omega = f_2(M)$; – $n = f_3(I)$ или $\omega = f_4(I)$; В340
12	Смешенной обмоткой возбуждения;
13	ЭДС двигателя постоянного тока смешенного возбуждения;
14	Смешенного возбуждения;
15	Б.С. Якоби и Э.Х. Ленцу в 1834 году;

16	1938:
17	А.В. Шубин:
18	В 1841 году англичанин Ч. Уитсон
19	в 1882;
20	в 1893;

2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ, практических занятий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в форме защиты курсового проекта и экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Сформулировать уравнение движения электропривода.
2. Что представляют собой активный и реактивный моменты? Привести примеры. Момент холостого хода.
3. Естественные и искусственные электромеханические и механические характеристики ДПТ.
4. Естественные механическая и электромеханическая характеристики АД. Формулы Клосса. Искусственные механические характеристики АД. Тормозные режимы АД.
5. Что называется естественной и искусственной статической механической, электромеханической характеристикой двигателя постоянного тока независимого возбуждения? Привести примеры семейств искусственных механических (электромеханических) характеристик а) при введении добавочного сопротивления в цепь якоря, б) при изменении напряжения, в) при изменении магнитного потока.
6. Как изменится ток якоря и скорость его вращения (установившиеся значения), если увеличить (уменьшить) величину добавочного сопротивления в цепи якоря (возбуждения) ДНВ при неизменном моменте на валу?
7. Координаты скольких точек необходимо знать для расчёта и построения естественной или искусственной механической характеристики ДНВ?
8. Какой из тормозных режимов двигателя постоянного тока независимого возбуждения, является генераторным? У каких тормозных режимов КПД равно нулю?
9. Пояснить понятия жесткости механических характеристик, какова по знаку и модулю статическая жёсткость механической характеристики ДНВ?

10. Какое уравнение асинхронного двигателя называют формулой Клосса?
11. Как влияет на величины пускового тока и пускового момента включение в цепь ротора асинхронного двигателя активного добавочного сопротивления.
12. Что называется естественной и искусственной статической механической, электромеханической характеристикой асинхронного двигателя? Привести примеры семейств искусственных механических характеристик: а) при введении добавочного активного сопротивления в цепь статора; б) при введении добавочного активного сопротивления в цепь ротора; в) при изменении напряжения; г) при изменении частоты питающего напряжения.
13. Привести механические характеристики и пояснить условия перевода и схему включения АД в тормозных режимах: а) противовключения; б) рекуперативного торможения; в) динамического торможения.
14. Изменяются ли критический момент и скольжение, если уменьшить напряжение на обмотке статора на 10% при $f_1 = f_n$?
15. Понятие о переходных процессах электроприводов, факторы, влияющие на характер переходного процесса, классификация переходных процессов, методы анализа.
16. Электромеханические переходные процессы электропривода с линейной механической характеристикой при $\omega_0 = \text{const}$ и $M_c = \text{const}$ при пуске и торможении.
17. Для ограничения тока при пуске или торможении до допустимых значений в цепь якоря или ротора двигателя вводится добавочное сопротивление. Какой постоянной времени можно пренебречь на пусковых характеристиках?
18. Перечислить основные причины возникновения переходных процессов в системах электропривода
19. Какие виды инерции оказывают влияние на характер протекания переходных процессов и какими постоянными времени они характеризуются?
20. Система генератор-двигатель (Г-Д). Принципиальная схема системы, её основные элементы. Уравнения, структурные схемы, статические механические характеристики, режимы работы. Основные технико-экономические показатели.
21. Система Г-Д работает в режиме рекуперативного торможения. Какая машина и какую составляющую мощности возвращает в сеть за вычетом суммарных потерь мощности?
22. Изобразить принципиальную схему и семейство механических характеристик системы Г-Д. Пояснить в каких режимах и квадрантах системы координат может работать система Г-Д. Как осуществить переход с одной характеристики на другую в двигательных и тормозных режимах.
23. Понятие о тахограммах и нагрузочных диаграммах механизмов и двигателей. Номинальные режимы работы (S1-S8).
24. Нагревание и охлаждение двигателей в номинальных режимах работы и выбор двигателя для кратковременного, продолжительного и повторно-кратковременного режимов работы.
25. Какие исходные данные необходимы для правильного выбора мощности электродвигателя для производственного механизма?

26. Дать определение понятию тахограммы и нагрузочной диаграммы механизма, привести примеры для механизмов непрерывного и циклического действия.

27. Дать определение и привести идеализированную нагрузочную диаграмму и кривую нагрева для номинальных режимов в работы а) кратковременного б) продолжительного в) повторно-кратковременного.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Кинематическая схема электропривода, сила и моменты, действующие в системе электропривода. Механические характеристики производственных механизмов.

2. Привидение переменных J , M_c , F_c , s , φ к расчётной скорости, расчётные схемы электропривода.

3. Переходные процессы электропривода с линейной механической характеристикой при одно- и много- ступенчатом пуске с $\omega_0 = \text{const}$, $M_c = \text{const}$.

4. Переходные процессы электропривода с линейной механической при $\omega_0 = \text{const}$, $M_c = \text{const}$ в тормозных режимах.

5. Переходные процессы электропривода с линейной и нелинейной характеристикой при $\omega_0 = \text{const}$ и $M_c = f(\omega)$.

6. Переходные процессы электропривода с линейной характеристикой при $\omega_0 = f(t)$ и $M_c = \text{const}$.

7. Переходный процесс электропривода с двигателем независимого возбуждения при изменении магнитного потока.

8. Регулирование скорости АД в схемах с электромашинным и статическим преобразователями частоты. Система ТПЧ-АД.

9. Регулирование скорости АД при питании от тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

10. Принцип регулирования скорости АД в каскадных схемах и понятие об электрическом и электромеханическом каскадах.

11. Выбор двигателей по мощности при длительном (S1) режиме работы.

12. Выбор двигателей по мощности при кратковременном (S2) режиме работы.

13. Выбор двигателей по мощности при повторно-кратковременном (S3) режиме работы.

14. Предварительный выбор двигателей по мощности и проверка допустимой нагрузки по методу средних потерь.

15. Потери энергии при переходных режимах электроприводов и способы уменьшения потерь энергии.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений

1. Расчёт естественных и искусственных механических характеристик ДНВ и ДПВ.

2. Расчёт пусковых сопротивлений ДНВ и ДПВ.

3. Расчёт тормозных сопротивлений ДНВ и ДПВ.

4. Расчет пусковых сопротивлений для роторной цепи АД.

5. Задачи и способы регулирования скорости электроприводов с двигателями постоянного.

6. Проверка допустимой нагрузки двигателей по методам эквивалентного тока, момента, мощности. Выбор преобразователей для систем УП-Д.

Перечень типовых ситуационных заданий и кейсов для проверки умений и владений представлен в приложении 1.

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.3. Защита курсовой работы:

Примерные темы курсовой работы:

Расчёт регулируемого электропривода производственной установки с двигателем постоянного тока в системе ТП – Д.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты курсового проекта приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2. Оценка уровня сформированности компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной

аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в форме экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

Приложение 1.

Типовые ситуационные задания и кейсы для проверки умений и владений

Комплексные практические задания предлагаются на основании выполненных индивидуальных заданий по модулям дисциплины и лабораторных работ, в том числе следующие:

Решить задачу

1. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения: $P_n = 37$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 165$ А; $n_n = 995$ об/мин; $R_a = 0,17$ Ом.

Определить:

- 1) скорость идеального холостого хода ω_0 ;
- 2) номинальный электромагнитный момент M_n ;
- 3) $I_{п.}$ и $M_{п.}$ (пусковые ток и момент, если сопротивление пускового реостата $0,4 R_n$).

2. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока параллельного возбуждения: $U_n = 110$ В; $I_n = 416$ А; $I_{вн} = 6$ А; $n_n = 980$ об/мин. $R_a = 0,0152$ Ом. Данную машину используют в режиме ГПТ, вращая ее со скоростью $n_1 = 1300$ об/мин.

Определить выходное напряжение U_r при номинальной нагрузке. Считать ток возбуждения независимым от режима работы машины.

3. Задача: Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа П81: $P_n = 42$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 210$ А; $n_n = 1470$ об/мин; $\Phi_n = 0,0124$ Вб; $k = 105,24$; $J = 2,8$ кг·м²; $I_{вн} = 1,64$ А. Определить:

- 1) скорость идеального холостого хода ω_0 , если двигатель работает при $\Phi_1 = 0,7 \cdot \Phi_n$;
- 2) статическую скорость ω_c , если двигатель работает с $\Phi_1 = 0,7 \cdot \Phi_n$ и $M = M_n$;
- 3) коэффициент жесткости механической характеристики β (при ослабленном потоке, см. выше);
- 4) коэффициент жесткости механической естественной характеристики β_E ;
- 5) электромеханическую постоянную времени T_m (на естественной характеристике);
- 6) электромеханическую постоянную времени T_m (при ослабленном потоке, см. выше);
- 7) добавочное сопротивление R_d в цепи ОВД для обеспечения режима работы с ослабленным полем (см. выше), считая $\Phi \equiv I_B$.

4. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения: $P_n = 22$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 118$ А; $\omega_n = 155$ с⁻¹.

Определить величину добавочного сопротивления R_d в цепи якоря двигателя, если он работает в режиме рекуперативного торможения, имея координаты: $\omega = 235$ с⁻¹; $M = 0,5 \cdot M_n$. Определить мощность на валу машины.

5. Задача: Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа П61: $P_n = 12$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 68$ А; $I_{вн} = 1,25$ А; $n_n = 1500$ об/мин.

Определить:

- 1) добавочное сопротивление R_d в цепи ОВД для обеспечения работы ЭП в режиме идеального х.х. со скоростью $\omega_0 = 2 \cdot \omega_{0н}$. Считать $\Phi \equiv I_B$;
- 2) коэффициент ЭДС $k\Phi$;
- 3) коэффициент жесткости искусственной механической характеристики β .

6. Задача. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения при работе на естественной характеристике имеет статическое падение $\Delta n_c = 150$ об/мин, а на искусственной (реостатной) характеристике $\Delta n_n = 600$ об/мин при прежней нагрузке на валу.

Определить величину добавочного сопротивления R_d в цепи якоря, если $R_a = 0,2$ Ом.

2. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока параллельного возбуждения:
 $U_n = 220 \text{ В}$; $I_n = 154 \text{ А}$; $\eta_n = 0,85$; $n_n = 740 \text{ об/мин}$; $R_{\text{я}} = 0,112 \text{ Ом}$. Двигатель работал с различными магнитными потоками: $\Phi_1 = \Phi_n$; $\Phi_2 = 0,8 \Phi_n$; $\Phi_3 = 0,6 \Phi_n$.

Требуется определить при указанных значениях магнитных потоков:

- 1) скорости идеального холостого хода;
- 2) скорости вращения двигателя при номинальной нагрузке по току.

7. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока параллельного возбуждения:
 $P_n = 55 \text{ кВт}$; $U_n = 220 \text{ В}$; $I_n = 275 \text{ А}$; $R_{\text{ов}} = 40 \text{ Ом}$ (при $t = 15^\circ \text{C}$).

Какое добавочное сопротивление R_d необходимо включить в цепь якоря, чтобы получить кратность пускового тока, равную 2,5?

8. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения:
 $P_n = 55 \text{ кВт}$; $U_n = 440 \text{ В}$; $I_n = 133 \text{ А}$; $n_n = 1480 \text{ об/мин}$.

Определить:

- 1) сопротивление реостата, который необходимо включить в цепь якоря для обеспечения работы ЭП в режиме торможения противовключением в точке с координатами: $M = 0,5 \cdot M_n$; $\omega = -94,5 \text{ с}^{-1}$;
- 2) мощность, подведенную к валу двигателя со стороны РМ;
- 3) мощность, потребляемую из сети. Статический момент имеет активный характер.

9. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа П51: $P_n = 3,2 \text{ кВт}$; $U_n = 220 \text{ В}$; $I_n = 18,3 \text{ А}$; $k\Phi = 1,88 \text{ В} \cdot \text{с}$; $T_m = 0,127 \text{ с}$.

Определить:

- 1) момент инерции J ;
- 2) начальный ток в режиме динамического торможения, если $\omega_{\text{нач}} = \omega_n$, $R_T = 0$;
- 3) кратность начального тормозного тока;
- 4) во сколько раз начальный тормозной ток превышает допустимое по условиям коммутации значение.

10. Задача:

Определить скорость вращения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при номинальной нагрузке на валу в двигательном и рекуперативном режимах работы, если известно, что: $R_d = 0,08 \text{ Ом}$; $R_{\text{я}} = 0,02 \text{ Ом}$; $\omega_0 = 90 \text{ с}^{-1}$; $\omega_n = 83,7 \text{ с}^{-1}$.

11. Задача. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения работает на естественной характеристике. Номинальное напряжение двигателя равно 220 В. По результатам эксперимента установлено, что:

- 1) при $I = 60 \text{ А}$; $\omega = 103 \text{ с}^{-1}$;
- 2) при $I = 120 \text{ А}$; $\omega = 101 \text{ с}^{-1}$;

Определить:

- 1) скорость идеального холостого хода ω_0 ;
- 2) сопротивление якорной цепи $R_{\text{я}}$;
- 3) ЭДС для первого случая E_1 ;
- 4) ЭДС для второго случая E_2 ;
- 5) момент для первого случая M_1 ;
- 6) момент для второго случая M_2 .

12. Задача. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения типа П51 имеет технические данные: $P_n = 6 \text{ кВт}$; $U_n = 220 \text{ В}$; $I_n = 33 \text{ А}$; $n_n = 1500 \text{ об/мин}$; $J = 0,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Определить:

- 1) электромеханическую постоянную времени T_m ;
- 2) номинальный момент на валу $M_{\text{нв}}$;

- 3) момент холостого хода M_{xx} ;
- 4) добавочное сопротивление R_d в цепи якоря для обеспечения работы ЭП в точке характеристики с координатами: $\omega = 0,7 \cdot \omega_n$; $M_c = 0,5 \cdot M_{нв}$.

13. Задача. АД имеет паспортные данные: $R_2 = 0,0174 \text{ Ом}$; $n_n = 705 \text{ об/мин}$. Двигатель работает на реостатной характеристике в точке с координатами: $M = M_n$, $\omega = 63 \text{ рад/с}$.

Определить $R_{доб}$ в цепи ротора и скольжение в указанном режиме работы.

Трехфазный шестиполусный АД работает в установившемся режиме при условиях: $U_1 = 3 \text{ кВ}$; $I_1 = 18,5 \text{ А}$; $\cos \varphi = 0,87$; $M_c = 730 \text{ Н·м}$; $n = 980 \text{ об/мин}$.

Определить:

- 1) мощность на валу P_v ;
- 2) КПД η ;
- 3) скольжение s .

14. Задача: АДФР типа МТН-411-6 имеет паспортные данные: $P_{1н} = 32,9 \text{ кВт}$; $U_n = 380 \text{ В}$; $n_n = 950 \text{ об/мин}$; $\eta_n = 0,82$; $\cos \varphi_n = 0,77$; $R_2 = 0,08 \text{ Ом}$; $X_2 = 0,233 \text{ Ом}$; $k_E = 1,46$. (Примечание $k_r = k_E^2$).

Определить:

- 1) номинальный ток статора $I_{1н}$;
- 2) номинальную мощность P_n ;
- 3) линейное значение ЭДС обмотки ротора $E_{2к}$;
- 4) приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора X'_2 ;
- 5) приведенное активное сопротивление обмотки ротора R'_2 ;
- 6) скольжение, если двигатель в режиме торможения противовключением имеет $\omega_c = -0,3 \cdot \omega_n$.

15. Задача. АДКЗР типа МТКФ-411-6 имеет паспортные данные: $U_n = 380 \text{ В}$; $I_{1н} = 51,3 \text{ А}$; $\cos \varphi_n = 0,79$; $\lambda_m = 2,6$; $GD^2 = 1,9 \text{ кг·м}^2$.

Определить:

- 1) момент инерции двигателя J_d ;
- 2) номинальный ток намагничивания $I_{\mu н}$;
- 3) активную составляющую тока статора $I_{1а}$;
- 4) реактивную составляющую тока статора $I_{1р}$;
- 5) номинальную мощность, потребляемую из сети $P_{1н}$.

16. Задача. АДКЗР типа МТКН-112-6 имеет данные: $U_n = 380 \text{ В}$; $n_n = 900 \text{ об/мин}$; $R_1 = 1,61 \text{ Ом}$; $X_1 = 1,14 \text{ Ом}$; $R'_2 = 2,19 \text{ Ом}$; $X'_2 = 1,12 \text{ Ом}$.

Определить:

- 1) пусковой момент M_n ;
- 2) пусковой ток ротора $I'_{2п}$;
- 3) критическое скольжение s_k ;
- 4) номинальный электромагнитный момент M_n ;
- 5) номинальную электромагнитную мощность $P_{эн}$.

17. Задача. АДКЗР типа МТКН-312-6 имеет данные: $U_n = 380 \text{ В}$; $I_{1н} = 36,1 \text{ А}$; $n_n = 930 \text{ об/мин}$; $k_r = 0,36 \cdot 10^4$; $R_1 = 0,337 \text{ Ом}$; $X_1 = 0,431 \text{ Ом}$; $R'_2 = 0,48 \text{ Ом}$; $X'_2 = 0,36 \text{ Ом}$.

(Примечание $k_r = k_E^2$).

Определить:

- 1) коэффициент трансформации ЭДС k_E ;
- 2) номинальный электромагнитный момент M_n ;

- 3) приведенный ток ротора $I'_{2н}$;
- 4) действительное активное сопротивление обмотки ротора R_2 ;
- 5) действительное индуктивное сопротивление обмотки ротора X_2 .

18. Задача. АДКЗР типа МТКФ-311-6 имеет паспортные данные: $U_n = 380$ В; $n_n = 910$ об/мин; $\lambda_m = 2,9$; $R_1 = 0,48$ Ом; $X_1 = 0,65$ Ом; $R'_2 = 0,8$ Ом; $X'_2 = 0,555$ Ом.

Определить:

- 1) критическое скольжение s_k ;
- 2) критический момент M_k ;
- 3) электромагнитную постоянную времени T_3 ;
- 4) приведенное к обмотке статора значение тока ротора $I'_{2н}$;
- 5) коэффициент жесткости механической характеристики β .

19. Задача. АДКЗР типа МТКН-411-6 имеет паспортные данные: $U_n = 380$ В; $R_1 = 0,22$ Ом; $R'_2 = 0,33$ Ом; $X_k = 0,62$ Ом; $n_n = 935$ об/мин.; $J_d = 0,475$ кг·м². Данные механической части привода: $J_m = 12$ кг·м²; $j = 3$; $\eta = 0,85$.

Определить:

- 1) электромеханическую постоянную времени T_m ;
- 2) электромагнитную постоянную времени T_3 ;
- 3) приведенный ток ротора $I'_{2н}$;
- 4) номинальный момент электромагнитный M_n .

Критерии оценки ситуационных заданий

Оценка «пять» ставится, если обучающийся осознанно излагает и оценивает суть данной ситуации, с аргументацией своей точки зрения, умеет анализировать, обобщать и предлагает верные пути решения складывающейся ситуации.

Оценка «четыре» ставится, если обучающийся понимает суть ситуации, логично строит свой ответ, но допускает незначительные неточности при определении путей решения.

Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в сущности складывающейся ситуации, но нуждается в наводящих вопросах, не умеет анализировать и не совсем верно намечает пути решения ситуации.

Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает суть данной ситуации, не может предложить путей ее решения, либо допускает грубые ошибки.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ РАБОТЫ НАД ЗАДАНИЯМИ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ И ИХ ОФОРМЛЕНИЮ

Рабочей программой по дисциплине «Электрический привод» для студентов предусмотрены самостоятельная работа, во время которой студенты должны выполнить ряд расчетных работ. В данных методических указаниях приводятся методика выполнения 2 контрольных работ в виде расчетных заданий:

- ❖ Задание 1. Расчет естественных и искусственных характеристик электропривода с двигателем постоянного тока.
- ❖ Задание 2. Расчет естественных и искусственных характеристик электропривода с асинхронным двигателем

Варианты двигателей к расчетному заданию №1 приведены в табл. 1, варианты исходных данных для расчетного задания №1 и №2 (коэффициенты) в табл. 2, а варианты двигателей к расчетному заданию №2 – соответственно в табл. 3. Студент выбирает тот вариант в каждом из заданий, номер которого совпадает с предпоследней цифрой его шифра, либо указанный преподавателем.

В целях облегчения работы после каждого задания приведены методические указания и сделаны ссылки на соответствующую литературу.

Начинать работу, не представляя, что от Вас требуется, не следует.

Необходимо внимательно разобраться в исходной информации, проработать соответствующий материал по рекомендованной литературе. Следует сразу же вести аккуратный черновик, для которого лучше всего подходит отдельная тетрадь или блокнот. Использование отдельных листков приводит чаще всего к их утере или к нарушению порядка расчетов и записей, которые трудно затем восстановить. Писать следует на одной стороне листа черновой тетради. Вторая сторона пригодится для дополнительных расчетов, замечаний, пересчетов.

Расчетные задания нужно выполнять в тетрадях или на стандартных листах писчей бумаги. Оформление выполненных заданий, условные обозначения величин и т.п. должны соответствовать ГОСТам, расчеты следует вести в системе СИ. При расчетах характеристик необходимо делать подробный расчет только для характерных точек каждой из них. Результаты остальных расчетов следует сводить в таблицу. При оформлении всех расчетов рекомендуется сначала писать расчетную формулу, затем – числовые значения величин, входящих в нее, и далее – конечный результат (с указанием размерности полученной величины). **Скобки в обозначении размерности не ставятся.** Если эти числовые значения берутся из графика или какой-либо таблицы, необходимо

делать на них соответствующие ссылки. Результаты всех аналогичных расчетов следует сводить в таблицы. Но каждый раз, когда в расчетную формулу будут входить величины с иными индексами или знаками, необходимо приводить эту формулу, подставляя в нее соответствующие цифровые значения, давать конечный результат, а результаты аналогичных расчетов сводить в таблицы. Целесообразно, получив таблицу, сразу же построить график искомой зависимости. Следует выбирать масштаб графиков, удобный для построения и считывания промежуточных значений связанных величин: лучше всего кратный 2, 5, 10.

Расчетные формулы и другие материалы, взятые из литературных источников, нужно давать со ссылкой на источник, указываемый в квадратных скобках номером, под которым этот источник значится в перечне литературы. В перечне необходимо указывать фамилию и инициалы авторов, название источника, издательство и год издания.

Расчетные, принципиальные и структурные схемы, графики характеристик, временные диаграммы должны быть выполнены на миллиметровой бумаге, пронумерованы, иметь пояснительные надписи, в соответствующих местах на них необходимо делать ссылки. Все характеристики двигателей следует изображать на одном графике.

В случае затруднений при выполнении контрольных заданий за консультациями следует обращаться непосредственно к преподавателю.

Контрольная работа №1

Для электропривода постоянного тока с двигателем независимого возбуждения, тип и механические данные которого приведены в табл.1, требуется:

1. Определить параметры двигателя и изобразить его структурную схему, вместе с рассчитанными значениями параметров, записать уравнения динамической механической характеристики двигателя в осях α , β .

2. Рассчитать и построить естественные электромеханическую $\omega = f(I_a)$ и механическую $\omega = f(M)$ характеристики в абсолютных единицах.

3. Рассчитать и построить искусственные реостатные характеристики $\omega = f(I_a)$ и $\omega = f(M)$, проходящие через точку C с координатами: $\omega_{и} = y \cdot \omega_{н}$; $M_{и} = b \cdot M_{н}$, где y , b –

коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2. Определить величину сопротивления, которое необходимо ввести в цепь якоря для обеспечения работы двигателя в заданной точке.

4. Рассчитать и построить искусственные характеристики $\omega = f(I_{\text{я}})$ и $\omega = f(M)$ двигателя при ослаблении магнитного потока. Характеристики должны проходить через точку **C** с координатами: $\omega_{\text{и}} = y_1 \cdot \omega_{\text{н}}; M_{\text{и}} = b_1 \cdot M_{\text{н}}$. Значения коэффициентов y_1 и b_1 приведены в табл. 2.

5. Рассчитать и построить искусственные характеристики $\omega = f(I_{\text{я}})$ и $\omega = f(M)$ при пониженном напряжении на якоре. Характеристики должны проходить через точку **C** с координатами: $\omega_{\text{и}} = y_2 \cdot \omega_{\text{н}}; M_{\text{и}} = b_2 \cdot M_{\text{н}}$. Значения коэффициентов y_2 и b_2 приведены в табл. 2.

6. Рассчитать и построить механическую характеристику $\omega = f(M)$ двигателя при динамическом торможении, проходящую через точку **C** с координатами: $\omega_{\text{и}} = y_3 \cdot \omega_{\text{н}}; M_{\text{и}} = b_3 \cdot M_{\text{н}}$. Значения коэффициентов y_3 и b_3 приведены в табл. 2. Определить величину тормозного сопротивления, на которое должен быть замкнут якорь двигателя.

7. Рассчитать величину тормозного сопротивления, которое следует включить в цепь якоря для перевода двигателя в режим торможения противовключением при $I_{\text{нач}} = I_{\text{доп}} = 2 \cdot I_{\text{н}}$ и $\omega_{\text{нач}} = 0,95 \cdot \omega_{\text{н}}$.

8. Определить скорость двигателя при рекуперативном спуске груза и моменте двигателя, равном $1,5 M_{\text{н}}$. Работа на естественной характеристике.

9. Рассчитать и построить пусковую диаграмму двигателя при его пуске в 4 ступени. Определить пусковое сопротивление и сопротивление ступеней. Пуск форсированный, значение момента сопротивления $M_{\text{с}} = M_{\text{н}}$.

Таблица 1. Основные технические данные двигателей постоянного тока независимого возбуждения

Параметры	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип двигателя	Д12	Д21	Д31	Д41	П22	П32	П71	Д808	Д810	Д812
Номинальная мощность P_H , кВт	2,5	4,5	6,7	15	1	2,2	19	37	55	70
Номинальное напряжение U_H , В	220	220	440	440	220	220	220	220	220	440
Номинальный ток I_H , А	14,6	26	19	40	5,9	12,0	103	192	282	176
Номинальная скорость n_H , об/мин	1180	1030	875	710	1500	1500	1500	575	550	520
Номинальный ток возбуждения I_{BH} , А	0,65	1,24	1,42	2,2	0,25	0,49	2,04	3,93	3,85	5,1
Сопротивление обмоток якоря и добавочных полюсов при $t_{окр.ср.}^0 = 20^0\text{C}$ $R_{я\sum}$, Ом	1,63	0,95	2,08	0,695	4,17	1,205	0,1235	0,054	0,0356	0,099
Сопротивление обмотки возбуждения R_B , Ом	260	128	107	70	712	358	76,8	44,4	46,2	34,4
Максимально допустимая частота вращения $n_{\max}$, об/мин.	3600	3600	3600	3000	3000	3000	2250	2300	2200	1900
Максимальный допустимый момент $M_{\max}$, Нм	54	113	157	490	-	-	-	1655	2550	2750
Момент инерции J , кг·м ²	0,05	0,125	0,3	0,8	0,052	0,116	1,4	2,0	3,625	7,0
Число пар полюсов p_{Π}	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2
Число пар параллельных ветвей, a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Число витков обмотки возбуждения w на полюс	1800	1650	1700	1480	4800	3600	1250	1250	1500	1350
Число активных проводников N якоря	990	920	1476	984	1728	936	396	278	234	418

Примечание: двигатели допускают увеличение скорости в 2 раза за счет ослабления магнитного потока. При этой скорости максимальный вращающий момент не должен превышать 0,8 для двигателей на 220 В и 0,64 для двигателей на 440 В.

Сопротивления даны при температуре окружающей среды 20⁰С.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ №1

К п.1. Структурная схема двигателя независимого возбуждения (точнее, электромеханического преобразователя с независимым возбуждением), соответствующая уравнениям, описывающим происходящие в нем процессы, и сами уравнения приведены в работах [1, 2, 3]. К параметрам, подлежащим определению, относятся:

$$L_B, T_B, R_{\Sigma}, L_{\Sigma}, T_{\Sigma}, \beta, k\Phi, M_H, E_H, \omega_H, \omega_0, J_H, \Phi_H.$$

Сопротивление якорной цепи приводится для двигателей типа Д к допустимой рабочей температуре $t_{дон} = 150^{\circ}\text{C}$, для двигателей типа П – к температуре $t_{дон} = 90^{\circ}\text{C}$. Температуру окружающей среды $t_{окр. ср}$ следует принять равной 20°C .

$$R'_{\Sigma} = R_{\Sigma} \left[1 + \alpha \cdot (t_{доп}^0 - t_{окр.ср.}^0) \right],$$

где $\alpha = 0,004$ – температурный коэффициент сопротивления.

Коэффициент насыщения магнитной цепи при определении индуктивности L_B обмотки возбуждения рекомендуется принять равным $k_{нас} = 1,5$.

Таблица 2. Значения коэффициентов y и b

Номер варианта	y	y_1	y_2	y_3	b	b_1	b_2	b_3
0	0	1,2	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	-1,0
1	0,5	1,45	0,3	1,0	0,5	1,2	1,0	-0,75
2	0	1,3	0,5	0,3	1,0	1,3	1,0	-1,0
3	-0,5	1,8	0,75	0,5	1,0	0,9	0,5	-0,5
4	0,3	1,4	0,4	0,2	0,3	1,2	0,8	-1,0
5	0,3	1,5	0,6	0,75	1,0	0,6	0,5	-1,5
6	0	1,95	0,7	0,3	1,5	0,9	0,6	-0,7
7	0,5	1,5	0,8	0,4	1,5	1,1	0,8	-1,5
8	-1,0	1,7	0,9	1,0	1,0	1,0	2,0	-0,75
9	-0,5	1,6	0,75	1,0	0,5	1,1	0,75	-1,0

К п.п. 2, 3, 4, 5, 6, 7: Методика расчета естественной и искусственной характеристик, тормозных и регулировочных сопротивлений, скорости изложена в работах [1, 2, 3].

К п. 8. Расчет пусковых сопротивлений необходимо выполнить аналитически. Напряжение питания и магнитный поток при этом следует считать номинальными.

Контрольная работа №2

Для электропривода переменного тока с асинхронным двигателем с фазным ротором, тип и технические данные которого приведены в табл. 3, требуется:

1. Изобразить структурную схему для области рабочих скольжений и определить ее параметры, которые затем вставить в структурную схему.
2. Рассчитать и построить естественные статические электромеханическую $I_2 = f(s)$ и механическую $\omega = f(M)$ характеристики.
3. Рассчитать и построить реостатную характеристику двигателя, проходящую через точку **C** с координатами: $\omega_{\text{и}} = y \cdot \omega_{\text{н}}$, $M = b \cdot M_{\text{н}}$, где **y** и **b** – коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2. Определить величину сопротивления, которое должно быть введено в цепь ротора, для обеспечения работы двигателя в заданной точке.
4. Рассчитать и построить (**на фоне естественной**) искусственную механическую характеристику при неноминальных параметрах питающей сети (принять пропорциональный закон регулирования $\frac{U}{f_1} = \text{const}$). Коэффициент **b** взять из табл. 2.
5. Рассчитать и построить с учетом насыщения механическую характеристику в режиме динамического торможения при $r_{2\text{доб}} = 0,5r_{2\text{н}}$ и постоянном токе возбуждения, величина которого указана в табл. 3, в долях от тока холостого хода.
6. Рассчитать пусковые характеристики и соответствующие им сопротивления при пуске в три ступени. Построить пусковую диаграмму. Проверить возможность пуска при $M_{\text{с}} = 0,8M_{\text{н}}$, $M_{\text{н}}$, $1,5M_{\text{н}}$.

Примечание: При расчете и построении механических характеристик по п.п. 2 – 4 максимальное значение скольжения выбирать равным $s = 1,2 s_{\text{кр}}$.

Таблица 3. Основные технические данные асинхронного двигателя с фазным ротором

Параметры	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип двигателя	МТН-111-6	МТН-211-6	МТН-312-6	МТН-411-8	МТН-412-6	МТН-611-10	МТН-312-8	МТН-412-8	МТН-512-8	МТН-612-10
Номинальная мощность P_n , кВт	3,5	8,2	17,5	18	36	53	13	26	45	70
Номинальное напряжение U_{1n} , В	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
Номинальный ток статора I_{1n} , А	11,6	24,6	43	48	87	128	34,7	72	104	165
Номинальная скорость n_n , об/мин	870	900	945	695	955	560	690	710	695	560
Номинальная ЭДС ротора E_{2n} , В	178	257	233	221	271	197	178	266	319	262
Номинальный ток ротора I_{2n} , А	16,5	23	54	59	88	185	53	68	94	181
$\cos\varphi_n$	0,72	0,7	0,77	0,73	0,75	0,76	0,74	0,68	0,79	0,77
КПД η_n	0,65	0,73	0,81	0,84	0,845	0,87	0,78	0,805	0,85	0,85
Ток статора холостого хода I_0 , А	9,87	19	34,4	29,8	51,8	78,1	27,5	49,6	53,1	88,7
Максимальный момент на валу $M_{\max}$, Н·м	83	196	471	635	932	2610	422	883	1370	3140
Активное сопротивление статора, $r_{1\text{действ}}$, Ом	2,62	0,835	0,337	0,352	0,133	0,0855	0,534	0,202	0,103	0,06
Индуктивное сопротивление статора, $x_{1\text{действ}}$, Ом	1,7	0,88	0,431	0,507	0,197	0,18	0,529	0,313	0,172	0,136
Активное сопротивление ротора, $r_{2\text{действ}}$, Ом	0,671	0,466	0,125	0,125	0,059	0,0274	0,13	0,102	0,091	0,033
Индуктивное сопротивление ротора, $x_{2\text{действ}}$, Ом	0,565	0,666	0,254	0,245	0,173	0,176	0,1825	0,231	0,356	0,133
Комплексный коэффициент σ_1	1,117	1,08	1,072	1,06	1,049	1,104	1,099	1,076	1,04	1,056
Коэффициент сопротивления k_r	4,54	2,18	2,66	2,96	1,96	3,72	4,54	2,03	1,415	2,1
Ток возбуждения в долях от I_0 , k_B	1,32	1,4	1,4	1,35	1,28	1,42	1,35	1,35	1,5	1,45
Момент инерции ротора J , кг·м ²	0,195	0,46	1,25	2,15	2,7	17	1,25	3,0	5,7	21
$\cos\varphi_0$	0,154	0,112	0,0916	0,086	0,071	0,08	0,106	0,084	0,08	0,06

Примечание: схема соединения обмоток статора и ротора – звезда. Активные сопротивления даны для нагретого двигателя.
Номинальная частота сети – 50 Гц

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 2

К п. 1. Структурная схема асинхронного электромеханического преобразователя для области рабочих скольжений (линеаризованного в пределах рабочего участка статической механической характеристики) показана в работе [1]. К параметрам, которые нужно в первую очередь определить, относятся ω_0 , $s_{кр}$, R_1 , R'_2 , X_1 , X'_2 , X_K , $M_{кр}$, s_H , β , T_ε , где β – жесткость механической характеристики на линейном участке.

К п. 2, 3. Естественная механическая характеристика, которая рассчитывается по уточненной формуле Клосса. Методика расчета естественных характеристик $\omega = f(M)$ и $I'_2 = f(s)$ описана в работах [1, 2, 3].

Этой же литературой можно воспользоваться при расчете искусственной реостатной характеристики и величины добавочного сопротивления, которое следует ввести в цепь ротора для обеспечения работы двигателя в заданной точке.

К п. 4. При расчете искусственной характеристики, соответствующей ненормальным частоте и напряжению, следует иметь в виду, что ω_0 , $s_{кр}$, X_K , $M_{кр}$ при этих условиях изменятся. Их нужно предварительно определить. Характеристика рассчитывается по формуле Клосса. При расчете задаются скольжением.

К п. 5. Пример расчета механической характеристики для режима динамического торможения приводится в работе [1, §3.14, с.224]. Однако в этом примере дается универсальная кривая намагничивания для двигателя другого типа. Ниже приводится упрощенный вариант расчета.

Порядок расчета:

а) Рассчитывается добавочного сопротивления, включаемого в цепь ротора в режиме динамического торможения. Предварительно задаются величиной добавочного сопротивления, принимая его равным $R_{2ДОБ} = 0,5 \cdot R_{2H}$.

$$R_{2H} = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3} \cdot I_{2H}}; \quad R'_{2ДОБ} = R_{2ДОБ} \cdot \kappa_r \cdot \sigma_1^2.$$

б) Вычисляем значение ЭДС фазы статора

$$E_{1\phi} = E_{1H} = U_{1H\phi} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_2'^2}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_K^2}}$$

в) Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_{1H}}{I_0 \cos \varphi_0}.$$

г) Критический момент для режима динамического торможения

$$M_{\kappa} = \frac{m_1 I_1^2 X_{\mu}^2}{2\omega_0 (X_{\mu} + X_2')},$$

Здесь $I_1 = I_{\mu}$ принимаем для режима динамического торможения.

д) Относительная скорость вращения при критическом моменте.

$$v_{кр.от} = \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{\mu} + X_2'} = \frac{R'_2 + R'_{2ДОБ}}{X_{\mu} + X_2'}.$$

е) Расчет самой механической характеристики может быть выполнен по выражению упрощенной формулы Клосса для режима динамического торможения

$$M = - \frac{2M_{\kappa}}{\frac{v}{v_{\kappa}} + \frac{v_{\kappa}}{v}},$$

где $v = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{[0,005... \omega_i]}{\omega_0}$ – относительная скорость вращения.

К п.6. Расчет пусковой диаграммы и соответствующих ей сопротивлений выполняется графоаналитически по методике, изложенной в работах [1, 2, 3]. Характеристики считаются линейными.

Примечание: Для п. 2 все величины номинальные. Для п. 4 β , T_{Σ} , $M_{кр}$, ω_0 , $s_{кр}$, f_1 необходимо пересчитать согласно заданным условиям.