

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**  
**Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

---

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Экономика и инвестиции в электроэнергетике

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Блок	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы	Формируемая участниками образовательных отношений
Индекс дисциплины по учебному плану	<i>Б1.В.06</i>
Трудоемкость в зачетных единицах	4 семестр – 3
Часов (всего) по учебному плану	108
Лекции	4 семестр – 2 часа
Практические занятия	4 семестр – 2 часа
Лабораторные работы	4 семестр – 2 часа
Самостоятельная работа	4 семестр – 93 часов
Промежуточная аттестация:	
Контроль: экзамен	4 семестр – 9 часов

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛИ:**

Доцент кафедры Энергетики,

к.т.н., доцент



Л.Р. Куш

Заведующий кафедрой Энергетики,

к.т.н., доцент

(название кафедры)



(подпись)

Е.Г. Зенина

(расшифровка подписи)

Руководитель образовательной программы Экономика и инвестиции в электроэнергетике

Зав. кафедрой Энергетики,

к.т.н., доцент

(должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Е.Г. Зенина

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий кафедрой Энергетики,

к.т.н., доцент

(название кафедры)



(подпись)

Е.Г. Зенина

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью освоения дисциплины** является получение основ знаний в области электрических машин, изучение основ электропривода и принципов управления режимами в современном электроприводе.

**Задачами дисциплины являются:**

- изучение конструктивного исполнения, принципа действия и характеристик электрических машин;
- изучение режимов работы электроприводов переменного и постоянного токов;
- изучение способов регулирования электроприводами переменного и постоянного токов;
- изучение энергосберегающих мероприятий в электроприводе и путей повышения энергетической эффективности электропривода.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен управлять технологическим оборудованием, выбирать серийное и проектировать новое оборудование по типовым методикам	ПК-1.1. Выполняет сбор и анализ данных по заданной тематике, обосновывает выбор технологических решений.	<b>знать:</b> - конструкцию и принцип действия трансформаторов; - конструкцию и принцип действия машин переменного и постоянного токов; <b>уметь:</b> - решать типовые задачи по типовым методикам;
	ПК-1.2. Демонстрирует понимание технологических процессов, способов управления оборудованием и их взаимосвязь с задачами эксплуатации	<b>знать:</b> – режимы работы и основные способы регулирования угловой скорости электроприводов переменного и постоянного токов; <b>уметь:</b> - анализировать процессы, происходящие в электроприводе в различных режимах
	ПК-1.3. Демонстрирует знания по планированию контроля деятельности по эксплуатации объектов электроэнергетики	<b>знать:</b> - современные энергосберегающие электроприводы постоянного и переменного тока; <b>уметь:</b> - производить сравнительный анализ технико-экономических характеристик электроприводов при эксплуатации технологических установок

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО**

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: Физика, Теоретические основы электротехники.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин: Электрические станции и подстанции, ТВН и электромагнитная совместимость, Режимы работы и эксплуатация электрических систем, Электроэнергетические системы и сети; Проектирование, монтаж и эксплуатация энергетического оборудования.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттеста- ции (по семестрам)	Всего ча- сов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы								Содержание самостоятельной работы (с указанием № источника по п. 5.1 и страниц в нем)	
				Контактная						СР	Конт- роль		
				Лек	Пр	Лаб	КПР	ИККП	ПА				
1	Трансформаторы	20	4	2	-	2	-	-	-	16	-	Изучение теоретического материала [1] с. 71-86, 90-92, 101-104	
2	Электрические машины перемен- ного тока	18	4	-	2	-	-	-	-	16	-	Изучение теоретического материала. Подготовка к контрольной работе [1] с. 139-157, 183-184, 201-207 [2] с. 13-20, 161-172, 219-224	
3	Электрические машины посто- янного тока	15	4	-	-	-	-	-	-	15	-	Изучение теоретического материала. Подготовка к контрольной работе [1] с. 213-221, 237-250 [2] с. 323-342	
4	Основные понятия и определе- ния электропривода. Режимы работы электроприводов постоянного и переменного тока	16	4	-	-	-	-	-	-	16	-	Изучение теоретического материала [3] с. 5-14, 31-42, 5-81, 89-92 [4] с. 7-12, 41-47,95-104, 152-157	
5	Регулирование координат двигателей переменного и по- стоянного токов в системах управления электроприводами	15	4	-	-	-	-	-	-	15	-	Изучение теоретического материала. Подготовка к контрольной работе. Выполнение расчетного задания [1] с. 160-169, 244-251 [3] с. 43-51, 54-56,81-83 [4] с. 47-65, 104-131, 157-158	
6	Энергосбережение в электропри- воде	15	4	-	-					15		Изучение теоретического материала [3] с. 156-158 [4] с. 205-209	
	Экзамен	9	4	-	-	-	-	-	-	-	9	Экзамен проводится в письменной форме по билетам согласно программе экзамена	
	Итого	108	4	2	2	2	-	-	-	93	9		

### 3.2. Краткое содержание разделов

#### 4 семестр

##### 1. Трансформаторы

Принцип работы трансформаторов. Конструкция трансформаторов. Маркировка силовых трансформаторов. Уравнения напряжения трансформатора. Уравнения МДС и токов трансформатора. Схема замещения приведенного трансформатора. Параметры схемы замещения трансформатора. Опыт холостого хода. Опыт короткого замыкания. Группы и схемы соединения трансформаторов. Внешние характеристики трансформатора. Регулирование напряжения. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Автотрансформаторы.

##### 2. Электрические машины переменного тока

Классификация асинхронных двигателей. Конструкции и принцип действия асинхронных двигателей. Принцип работы асинхронных двигателей. Режимы работы асинхронных двигателей. Энергетическая диаграмма асинхронных двигателей. Электромагнитный момент асинхронных двигателей. Математическое и графическое представление формулы Клосса. Рабочие характеристики асинхронных двигателей. Пуск трехфазных асинхронных двигателей.

Конструкция синхронных машин. Способы возбуждения. Схема замещения синхронного генератора. Характеристики синхронного генератора при автономной работе. Работа синхронной машины в режиме синхронного двигателя. Пуск двигателя. Рабочие характеристики синхронного двигателя.

##### 3. Электрические машины постоянного тока

Конструкция и принцип действия электрических машин постоянного тока. Работа электрической машины постоянного тока в режиме генератора. Способы возбуждения генератора постоянного тока. Внешние характеристики генератора.

Работа электрической машины постоянного тока в режиме двигателя. Механические характеристики двигателей постоянного тока. Пуск двигателей постоянного тока.

##### 4. Основные понятия и определения электропривода. Режимы работы электроприводов постоянного и переменного тока

Структура электропривода. Классификация электроприводов. Энергетические режимы работы электроприводов постоянного тока. Энергетические режимы работы электроприводов переменного тока. Пуск электродвигателей.

##### 5. Регулирование координат двигателей переменного и постоянного токов в системах управления электроприводами

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока в разомкнутых системах управления электроприводами.

Способы регулирования скорости асинхронных двигателей в разомкнутых системах управления электроприводами.

Виды управления электроприводом. Принципы управления электроприводами. Релейно-контакторное управление двигателями переменного и постоянного токов. Замкнутые системы управления автоматизированными электроприводами.

##### 6. Энергосбережение в электроприводе

Основные методы энергосбережения на этапе проектирования электропривода. Энергосбережение работающих электроприводов.

### **3.3. Темы практических занятий**

#### **4 семестр**

1. Построение механических характеристик асинхронного двигателя (2 часа)

### **3.4. Темы лабораторных работ**

#### **4 семестр**

1. Исследование однофазного трансформатора (2 часа)

### **3.5. РГР**

#### **4 семестр**

РГР учебным планом не предусмотрены.

### **3.6. Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

#### **4 семестр**

Курсовые проекты и курсовые работы учебным планом не предусмотрены.

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций (4 семестр)

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)						Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	
<b>Знать:</b>								
конструкцию и принцип действия трансформаторов	ПК-1.1	X						Тест 1. Силовые трансформаторы
конструкцию и принцип действия машин переменного и постоянного токов	ПК-1.1		X	X				Тест 2. Асинхронные двигатели
режимы работы и основные способы регулирования угловой скорости электроприводов переменного и постоянного тока	ПК-1.2				X	X		Тест 3. Режимы работы электроприводов
современные энергосберегающие электроприводы постоянного и переменного тока	ПК-1.3						X	Тест 4. Энерго- и ресурсосбережение в электроприводе
<b>Уметь:</b>								
решать типовые задачи по типовым методикам	ПК-1.1		X	X				Контрольная работа 1. Электрические машины
анализировать процессы, происходящие в электроприводе в различных режимах	ПК-1.2				X	X		Защита лабораторной работы 1. Исследование однофазного трансформатора
производить сравнительный анализ технико-экономических характеристик электроприводов при эксплуатации технологических установок	ПК-1.3						X	Контрольная работа 2. Регулирования угловой скорости электроприводов постоянного и переменного тока



## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости по дисциплине:**

#### **4 семестр**

– тестирование:

1. Силовые трансформаторы
2. Асинхронные двигатели
3. Режимы работы электроприводов
4. Энерго- и ресурсосбережение в электроприводе

– контрольные работы:

1. Электрические машины.
2. Регулирования угловой скорости электроприводов постоянного и переменного тока

– защита лабораторной работы «Исследование однофазного трансформатора».

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2. Промежуточная аттестация по дисциплине (части дисциплины):**

#### **4 семестр**

Экзамен

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

В приложение к диплому выносится оценка за 4 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1. Печатные и электронные издания:**

1. Епифанов А. П., Епифанов Г. А. Электрические машины : Учебник. – СПб. : Издательство «Лань», 2022. – 300 с.. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://reader.lanbook.com/book/209984#2> (дата обращения: 30.06.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8114-2637-9. – Текст : электронный.
2. Копылов, И. П. Электрические машины. Том 2. - 2-е изд., испр. и доп. : учебник для вузов / И. П. Копылов. - Москва : Юрайт, 2021. - 408 с.
3. Ильинский, Н. Ф. Основы электропривода : учебное пособие для вузов / Ильинский Н. Ф. - 3-е изд. , стереот. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. - 224 с. - ISBN 978-5-383-00001-4. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL :

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383000014.html> (дата обращения: 30.06.2022). - Режим доступа : по подписке.

4. Москаленко, В. В. Электрический привод : учеб. пособие / В. В. Москаленко. - 2-е изд., стер. - М. : Академия, 2004. - 368 с.

**5.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:** ОС Windows, Microsoft Office, MathCAD, RastrWin

**5.3. Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

Университетская информационная система «РОССИЯ» <https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ <https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ <http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ" <https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные и практические занятия проводятся в учебных аудиториях, снабженных оборудованием для показа обучающих материалов, средствами звуковоспроизведения, доской аудиторной, оборудованием для представления презентаций (плазменная панель, персональный компьютер).

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Электрические машины и электропривод

(название дисциплины)

## 4 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1	Тест 1. Силовые трансформаторы
КМ-2	Тест 2. Асинхронные двигатели
КМ-3	Тест 3. Режимы работы электроприводов
КМ-4	Контрольная работа 1. Электрические машины
КМ-5	Контрольная работа 2. Регулирования угловой скорости электроприводов постоянного и переменного тока
КМ-6	Тест 4. Энерго- и ресурсосбережение в электроприводе
КМ-7	Защита лабораторной работы «Исследование однофазного трансформатора»

Вид промежуточной аттестации – экзамен

Трудоемкость дисциплины = 3 з.е. (без учета КП/КР)

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ –1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5	КМ- 6	КМ- 7	Экзамен
1	Трансформаторы		+							
2	Электрические машины переменного тока			+		+				
3	Электрические машины постоянного тока					+				
4	Основные понятия и определения электропривода. Режимы работы электроприводов постоянного и переменного тока				+					
5	Регулирование координат двигателей переменного и постоянного токов в системах управления электроприводами						+		+	
6	Энергосбережение в электроприводе							+		
Минимальный балл за КМ			4	4	4	8	8	4	8	20
Максимальный балл за КМ			6	6	6	12	12	6	12	40

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

---

**Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Экономика и инвестиции в  
электроэнергетике**

**Уровень образования: бакалавриат**

**Форма обучения: очная**

**Оценочные материалы по дисциплине**

**Б1.О.21 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

**Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Коды индикаторов достижения компетенции	Оценочное средство (тип и наименование)
<b>4 семестр</b>		
<b>Знать:</b>		
конструкцию и принцип действия трансформаторов	ПК-1.2	Контрольная работа № 1 Отчет по лабораторной работе №1, экзамен
конструкцию и принцип действия асинхронных электродвигателей	ПК-1.2	Контрольная работа № 2 Отчет по лабораторной работе №5, экзамен
конструкцию и принцип действия синхронных машин	ПК-1.2	Контрольная работа № 3, экзамен
конструкцию и принцип действия машин постоянного тока	ПК-1.2	Контрольная работа № 4 Отчеты по лабораторным работам № 2 – 4, экзамен
<b>Уметь:</b>		
рассчитывать параметры трансформаторов	ПК-1.2	РГР, экзамен
рассчитывать параметры асинхронных электродвигателей	ПК-1.2	РГР, экзамен
рассчитывать параметры синхронных машин	ПК-1.2	РГР, экзамен
рассчитывать параметры машин постоянного тока	ПК-1.2	РГР, экзамен
<b>5 семестр</b>		
<b>Знать:</b>		
режимы работы электроприводов переменного и постоянного тока	ОПК-3.3	Тест № 1
принципы автоматического управления электроприводом	ОПК-3.3	Тест № 2
основные способы регулирования угловой скорости электроприводов постоянного и переменного тока	ОПК-3.5	Тест № 3
энергетические характеристики электропривода	ОПК-3.3	Тест № 4
<b>Уметь:</b>		
анализировать процессы, происходящие в электроприводе в различных режимах	ОПК-3.3	РГР
применять современные энергосберегающие электроприводы при эксплуатации технологических установок	ОПК-3.5	Контрольная работа

## Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### 4 семестр

#### Контрольная работа №1 «Трансформаторы»

Пример варианта контрольной работы:

Технические данные трехфазных трансформантов серии ТМ приведены в таблице номинальная мощность  $S_{ном}$ , номинальные первичное  $U_{1ном}$  и вторичное  $U_{2ном}$  напряжения, напряжение короткого замыкания  $u_k$ , мощность короткого замыкания  $P_{к.ном}$ , мощность холостого хода  $P_{0 ном}$ , ток холостого хода  $i_0$ . Определить необходимые параметры и построить треугольник короткого замыкания (обмотки Y/Y; параметры приведены к рабочей температуре).

Таблица 1.

Тип трансформатора	$S_{ном}$ кВА	$U_{1ном}$ кВ	$U_{2ном}$ кВ	$u_k\%$	$P_{к.ном}$ кВт	$P_{0 ном}$ кВт	$i_0$
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	12,2	2,45	1,4
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	18,0	3,3	1,3
ТМ-2500/10	2500	10	0,4	5,5	25,0	4,6	1,0
ТМ-4000/10	4000	10	0,4	5,5	33,5	6,4	0,9
ТМ-6300/10	6300	10	0,4	5,5	46,0	9,0	0,8
ТМ-630/10	630	10	0,4	5,5	7,6	1,56	2,0

Решение варианта с трансформатором ТМ-630/10.

1. Напряжение короткого замыкания

$$U_{1к} = 10^{-2} \cdot u_k \cdot U_{1ном} = 10^{-2} \cdot 5,5 \cdot 10^3 = 550 \text{ В.}$$

2. Ток короткого замыкания

$$I_{1к} = I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 630 \cdot \frac{10^3}{1,73 \cdot 10 \cdot 10^3} = 36,4 \text{ А.}$$

3. Коэффициент мощности режима короткого замыкания

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{кном}}{\sqrt{3} \cdot U_{1к} \cdot I_{1к}} = \frac{7600}{1,73 \cdot 550 \cdot 36,4} = 0,22$$

$$\varphi_k = 77^\circ; \sin \varphi_k = 0,97$$

4. Полное сопротивление короткого замыкания

$$Z_k = \frac{U_{к1}}{\sqrt{3} \cdot I_{1к}} = \frac{550}{1,73 \cdot 36,4} = 8,7 \text{ Ом.}$$

5. Активная составляющая сопротивления короткого замыкания

$$r_k = Z_k \cdot \cos \varphi_k = 8,7 \cdot 0,22 = 1,9 \text{ Ом.}$$

6. Индуктивная составляющая сопротивления короткого замыкания

$$x_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k = 8.7 \cdot 0.97 = 8.44 \text{ Ом.}$$

7. Стороны треугольника напряжений короткого замыкания (рис.1.)

$$U_k = I_{1k} \cdot Z_k = 36.4 \cdot 8.7 = 317 \text{ В;}$$

$$U_{k,\alpha} = I_{1k} \cdot r_k = 36.4 \cdot 1.9 = 69 \text{ В;}$$

$$U_{k,\beta} = I_{1k} \cdot x_k = 36.4 \cdot 8.44 = 307 \text{ В;}$$

По результатам контрольной работы выставляется:

- 5 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 4 балла, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 3 балл, если правильно выполнено не менее 75% задания.

## Контрольная работа № 2 «Асинхронные электродвигатели»

Пример варианта контрольной работы:

Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет эффективное число витков в фазных обмотках статора  $\omega_1 k_{\sigma\beta 1}$  и  $\omega_2 k_{\sigma\beta 2}$ , ЭДС фазной обмотки статора  $E_1=0,95U_1$ , ЭДС фазной обмотки неподвижного ротора  $E_2$ , а вращающегося со скольжением  $S$ , равно  $E_{2s}$ . Используя приведенные в табл. 2 значения параметров, определить неуказанные значения, если напряжение питания двигателя  $U_1=220/380 \text{ В}$ .

Таблица 2.

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\omega_1 k_{\sigma\beta 1}$	18	24	—	32	—	36	—	24	—	48
$\omega_2 k_{\sigma\beta 2}$	12	—	18	—	12	—	18	—	16	—
$E_1, \text{ В}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$E_2, \text{ В}$	—	93	—	105	—	104	—	98	—	110
$E_{2s}, \text{ В}$	—	5,58	6,5	5,25	5,8	—	4,0	5,8	4,6	—
$s$	0,05	—	0,04	—	0,07	0,05	0,03	—	0,05	0,04

Решение варианта 1.

1. ЭДС фазы обмотки статора

$$E_1 = 0.95 \cdot U_1 = 0.95 \cdot 220 = 209 \text{ В.}$$

2. Коэффициент трансформации по ЭДС

$$k_{\sigma} = \frac{\omega_1 k_{\sigma\beta 1}}{\omega_2 k_{\sigma\beta 2}} = \frac{18}{12} = 1.5$$

3. ЭДС фазной обмотки неподвижного ротора

$$E_2 = \frac{E_1}{k_{\sigma}} = \frac{209}{1.5} = 139 \text{ В.}$$

4. ЭДС фазной обмотки вращающегося ротора

$$E_{2s} = E_2 s = 139 \cdot 0.05 = 7 \text{ В.}$$

По результатам контрольной работы выставляется:

- 5 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 4 балла, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 3 балл, если правильно выполнено не менее 75% задания.

## Контрольная работа №3 «Синхронные машины»

Пример варианта контрольной работы:

Параметры трехфазного синхронного генератора (табл.3): номинальное (линейное) напряжение на выходе  $U_{1ном}$  при частоте тока 50 Гц, обмотка статора соединена «звездой», номинальный ток статора  $I_{1ном}$ , КПД генератора при номинальной нагрузке  $\eta_{ном}$ , число полюсов  $2p$ , мощность на входе генератора  $P_{ном}$ , полезная мощность на выходе генератора  $P_{ном}$  суммарные потери в режиме номинальной нагрузки  $\sum P_{ном}$  полная номинальная мощность на выходе  $S_{2ном}$ , коэффициент мощности нагрузки, подключенной к генератору,  $\cos\varphi_{1ном}$  вращающий момент первичного двигателя при номинальной нагрузке генератора  $M_{1ном}$ . Требуется определить параметры, значения которых в табл. 3 не указаны.

Таблица 3.

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ном}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	330	—	270	470	—	600	780	450	700	500
$U_{1ном}, \text{кВ}$	6,3	3,2	0,4	—	0,7	3,2	6,3	0,4	—	3,2
$\eta_{ном}, \%$	92	—	—	91	90	93	—	—	93	92
$2p$	6	8	—	6	10	12	6	—	6	10
$P_{ном}, \text{кВт}$	—	—	206	—	—	—	667,4	369,5	—	—
$\sum P_{ном}, \text{кВт}$	—	27	18	—	—	—	—	—	—	—
$\cos\varphi_{1ном}$	0,9	—	0,85	0,9	—	0,92	—	0,9	0,92	0,85
$I_{1ном}, \text{А}$	—	72,2	—	43,1	190	—	—	—	64,2	—
$P_{1ном}, \text{кВт}$	—	340	—	—	190	—	717,6	—	—	—
$M_{1ном}, \text{Н} \cdot \text{м}$	—	—	—	—	—	—	—	7735	—	—

Решение варианта 1.

1. Полезная мощность на выходе генератора

$$P_{ном} = S_{ном} \cdot \cos\varphi_{1ном} = 330 \cdot 0,9 = 297 \text{ кВт}.$$

2. Мощность на выходе генератора

$$P_{1ном} = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} = \frac{297}{0,92} = 322,8 \text{ кВт}.$$

3. Суммарные потери

$$\sum P_{ном} = P_{1ном} - P_{ном} = 322,8 - 297 = 25,8 \text{ кВт}.$$

4. Ток статора в номинальном режиме

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{1ном}} = \frac{330}{1,73 \cdot 6,3} = 30,2 \text{ А}.$$

5. Синхронная частота вращения при  $2p=6$  и частоте тока  $f_1=50$  Гц:

$$n_1 = f_1 \cdot \frac{60}{p} = 50 \cdot \frac{60}{3} = 1000 \text{ об/мин}.$$

6. Момент приводного двигателя, необходимый для вращения ротора генератора с синхронной частотой вращения в режиме номинальной нагрузки,

$$M_{1ном} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{P_{1ном}}{\eta_1} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{322,8}{1000} = 3083 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По результатам контрольной работы выставляется:

- 5 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 4 балла, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 3 балл, если правильно выполнено не менее 75% задания.



## Контрольная работа №4 «Машины постоянного тока»

Пример варианта контрольной работы:

Рассчитать трехступенчатый пусковой реостат для двигателя постоянного тока независимого возбуждения технические данные в таблице 4.

Решение варианта с двигателем 2ПО200L ( $P_{\text{ном}}=7,1$  кВт;  $U_{\text{ном}}=220$ В;  $\sum r=0,48$  Ом;  $I_{\text{аном}}=38,6$  А).

1. Принимаем:

значение начального пускового тока

$$I_1 = 2,0 \cdot I_{\text{аном}} = 2,0 \cdot 38,6 = 77,2 \text{ А},$$

значение тока переключений

$$I_2 = I'_{\text{аном}} = 38,6 \text{ А}.$$

2. Отношение токов

$$\lambda = \frac{I_1}{I_2} = 2,0.$$

3. Сопротивление резистора третьей ступени пускового реостата

$$r_{\text{доб3}} = \sum r(\lambda - 1) = 0,48 \cdot (2,0 - 1) = 0,48 \text{ Ом}.$$

4. Сопротивление резистора второй ступени пускового реостата

$$r_{\text{доб2}} = r_{\text{доб3}}\lambda = 0,48 \cdot 2,0 = 0,96 \text{ Ом}.$$

5. Сопротивление резистора первой ступени пускового реостата

$$r_{\text{доб1}} = r_{\text{доб3}}\lambda^2 = 0,96 \cdot 2,0 = 1,92 \text{ Ом}.$$

6. Сопротивление пускового реостата на первой ступени, когда все три резистора соединены последовательно,

$$R_{\text{пр1}} = r_{\text{доб1}} + r_{\text{доб2}} + r_{\text{доб3}} = 1,92 + 0,96 + 0,48 = 3,36 \text{ Ом}.$$

7. Сопротивление пускового реостата на второй ступени

$$R_{\text{пр2}} = r_{\text{доб2}} + r_{\text{доб3}} = 0,96 + 0,48 = 1,44 \text{ Ом}.$$

8. Сопротивление пускового реостата на второй ступени

$$R_{\text{пр3}} = r_{\text{доб3}} = 0,48 \text{ Ом}.$$

По результатам контрольной работы выставляется:

- 5 баллов, если правильно выполнено 100% задания.
- 4 балла, если правильно выполнено не менее 85% задания;
- 3 балл, если правильно выполнено не менее 75% задания.

## Отчет по ЛБ 1. Исследование однофазного трансформатора

1. Назначение, устройство, принцип действия трансформатора. Объяснить явление взаимной индукции.
2. Назначение, устройство сердечника трансформатора.
3. Назвать и объяснить все потери преобразования в трансформаторе, способы их уменьшения.
4. Почему коэффициент трансформации определяется в режиме холостого хода?
5. Объяснить вид внешней характеристики трансформатора  $U_2 = f(I_2)$
6. Объяснить вид графика зависимости КПД от мощности вторичной цепи.
7. Петля гистерезиса, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила – изобразить график. объяснить физический смысл.
8. Магнитомягкие, магнитожёсткие материалы. Какие материалы применяются для трансформаторов?
9. Какие потери и почему определяются в опыте холостого хода?

10. Какие потери и почему определяются в опыте короткого замыкания?
11. Изобразить эскиз нагруженного трансформатора, показать направления  $U, I, \varepsilon, \Phi$ .

По результатам отчета выставляется:

- 5 балла, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 4 балла, если правильно выполнено 75...89% заданий.
- 3 балла, если правильно выполнено 60...74% заданий

### **Отчет по ЛБ 2. Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения**

1. Устройство, принцип действия электрических машин постоянного тока.
2. Свойство обратимости электрических машин.
3. Классификация генераторов постоянного тока по способу возбуждения.
4. Дать определение характеристике холостого хода.
5. Дать определение нагрузочной характеристике.
6. Дать определение внешней характеристике.
7. Дать определение регулировочной характеристике.
8. Что такое магнитодвижущая сила реакции якоря?
9. Что такое характеристический треугольник и какими исходными данными надо располагать для его построения?
10. Почему нагрузочная характеристика располагается ниже характеристики холостого хода?
11. От чего зависит ЭДС и вращающий момент генератора постоянного тока?

По результатам отчета выставляется:

- 5 балла, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 4 балла, если правильно выполнено 75...89% заданий.
- 3 балла, если правильно выполнено 60...74% заданий

### **Отчет по ЛБ 3. Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения**

1. Устройство и принцип действия двигателей постоянного тока.
2. Свойство обратимости электрических машин.
3. Классификация двигателей постоянного тока по способу возбуждения.
4. Дать определение механической характеристике двигателя.
5. Что такое устойчивость работы двигателя.
6. Уравнение механического состояния двигателя.
7. От чего зависит частота вращения двигателя постоянного тока?  
Уравнение механической характеристики двигателя.
8. С какой целью при пуске двигателя постоянного тока параллельного возбуждения источник постоянного тока выводится на минимальное напряжение?
9. Какие способы регулирования частоты вращения возможны в двигателях параллельного возбуждения?
10. Как осуществить реверс двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением?
11. Дать определение регулировочной характеристики двигателя параллельного возбуждения?  
Почему она криволинейна?
12. Какие характеристики двигателя параллельного возбуждения называют рабочими?
13. Почему при увеличении нагрузки двигателя параллельного возбуждения уменьшается частота вращения?
14. В чём причина «разноса» двигателя параллельного возбуждения при обрыве в цепи возбуждения?

По результатам отчета выставляется:

- 5 балла, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 4 балла, если правильно выполнено 75...89% заданий.

– 3 балла, если правильно выполнено 60...74% заданий

#### **Отчет по ЛБ 4. Исследование универсального коллекторного двигателя**

1. Область применения универсальных коллекторных двигателей.
2. Чем отличается универсальный коллекторный двигатель от двигателя постоянного тока?
3. Устройство универсального коллекторного двигателя.
4. Что означает термин «шихтованная»?
5. Что такое механическая характеристика?
6. Почему при включении универсального двигателя в сеть переменного тока уменьшают число витков в обмотке возбуждения?
7. Почему универсальные коллекторные двигатели делают только с последовательным возбуждением?
8. Почему при работе от сети переменного тока потребляемый универсальным двигателем ток больше, чем при постоянном токе, а К.П.Д. , наоборот, меньше?
9. Какими способами можно регулировать частоту вращения универсального коллекторного двигателя?
10. Каким образом можно изменить направление вращения универсального коллекторного двигателя ?
11. Чем объясняется расхождение характеристик универсального коллекторного двигателя при работе на постоянном и переменном токе?

По результатам отчета выставляется:

- 5 балла, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 4 балла, если правильно выполнено 75...89% заданий.
- 3 балла, если правильно выполнено 60...74% заданий

#### **Отчет по ЛБ 5. Исследование трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором**

1. Почему асинхронные двигатели обладают низким коэффициентом мощности, каково отрицательное следствие этого?
2. Каким образом в промышленности при использовании большого количества двигателей поддерживают высокий коэффициент мощности?
3. Почему сердечники статора и ротора изготавливают из отдельных листов стали, изолированных друг от друга, а не отливают цельнометаллическими?
4. Пользуясь правилом левой руки, определите направление вращения ротора по отношению направления вращения магнитного поля статора.
5. В силу каких причин асинхронный двигатель получил своё название?
6. От чего зависит частота вращения асинхронного двигателя?
7. Покажите, при числе пар полюсов равном двум, частота вращения магнитного поля равна 1500 об/мин.
8. Может ли асинхронная машина иметь частоту вращения ротора большую, чем частота вращения магнитного поля?
9. Может ли скольжение быть отрицательной величиной?
10. Почему пуск асинхронного двигателя выделяют в специальный режим работы?
11. Перечислите способы пуска асинхронного двигателя и их особенности.
12. Какие преимущества даёт пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором путём переключения с «треугольника» на «звезду»?
13. Почему пуск двигателя в данной лабораторной работе не даёт значительных пусковых токов при прямом пуске?

14. Получить формулу для расчёта полезной механической мощности на валу двигателя

$$P_n = \frac{n \cdot M}{9,55}$$

15. Почему при недогрузке асинхронный двигатель работает с малым значением коэффициента мощности?

16. Как изменится вращающий момент двигателя, если напряжение на выводах обмотки его статора уменьшить в  $\sqrt{3}$  раз?

17. Какие характеристики асинхронного двигателя называют рабочими?

18. Что такое реверс и как его осуществить в 3х-фазном асинхронном двигателе?

19. Как пусковой момент асинхронного двигателя зависит от подводимого к обмотке статора напряжения?

20. Почему при пуске асинхронного двигателя, когда ЭДС и ток в фазном роторе максимальны, не развивается максимальный вращающий момент?

По результатам отчета выставляется:

- 5 балла, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 4 балла, если правильно выполнено 75...89% заданий.
- 3 балла, если правильно выполнено 60...74% заданий

### Расчетное задание «Расчет параметров и построение характеристик электрических машин (по вариантам)»

Расчетное задание выполняется в форме домашнего задания.

**Тема:** Построение механических характеристики АД

**Цель:** научиться определять параметры АД и строить зависимости  $n(M)$  при изменении условий работы.

Для трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором определить следующие характеристики по данным табл. 1:

- 1 Потребляемую двигателем мощность.
- 2 Номинальный, максимальный и пусковой моменты.
- 3 Номинальный и пусковой токи.
- 4 Номинальное и критическое скольжение.
- 5 Рассчитать и построить механическую характеристику асинхронного двигателя  $n_2 = f(M)$  для значений скольжений  $s = 0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; s_{ном}; s_{кр}$ . Расчет производить по упрощенной формуле Клосса.
6. Построить искусственную характеристику при уменьшении напряжения. Кратность напряжения на обмотке статора относительно номинального  $\alpha = 0,6$
7. Сделать вывод

**Дано:** тип двигателя 4A160S4;  $P_{2ном} = 15 \text{ кВт}$ ;  $n_{ном} = 1465 \text{ об/мин}$ ;  $U_{1ном} = 220 \text{ В}$ ;  $I_{1ном} = 29,3 \text{ А}$ ;  $\lambda_M = M_{кр}/M_{ном} = 2,3$ ;  $\lambda_I = I_{пуск}/I_{ном}$ ; напряжение снижено до  $U_1 = 0,7 U_{1ном}$ .

1. Номинальная угловая скорость двигателя, рад/с  
 $\omega_{ном} = 2 \pi n_{ном} / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1465 / 60 = 153$
2. Скорость идеального холостого хода (скорость поля), рад/с

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157$$

3. Номинальный электромагнитный момент (механическими потерями в роторе и добавочными потерями пренебрегаем  $\Delta P_{мех} \approx \Delta P_{доб} \approx 0$ ), Н·м

$$M_{ном} = \frac{P_{эм}}{\omega_0} = \frac{P_{2мех}}{\omega} = \frac{P_{2ном} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{доб}}{\omega} = \frac{15000}{153}$$

Где  $P_{эм}$  — электромагнитная мощность;

$P_{2мех} = P_{эм} - \Delta P_{э2}$  — механическая мощность, развиваемая ротором;

$P_{2ном}$  — полезная мощность на валу в номинальном режиме;

$\Delta P_{э2}$  — электрические потери в роторе.

4. Номинальное скольжение

$$s_{ном} = \left( \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0} \right) = \left( \frac{157 - 153}{157} \right) = 0,025.$$

5. Критический момент АД при номинальном напряжении, Н·м

$$M_{кр} = \lambda_M \cdot M_{ном} = 2,3 \cdot 98 = 225$$

6. Критическое скольжение

$$s_{кр} = s_{ном} \left( \lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1} \right) = 0,025 \left( 2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1} \right) = 0,11.$$

7. Подставляют найденные значения  $s_{кр}$  и  $M_{кр}$  в формулу Клосса

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} = \frac{2 \cdot 225}{\frac{s}{0,11} + \frac{0,11}{s}}.$$

Задавая ряд значений  $s$  от 1 до 0, определяют по этой формуле соответствующие значения момента.

По известному значению скольжения находят скорость

$$\omega = \omega_0 (1 - S).$$

Результаты расчета заносят в таблицу и строят естественную механическую характеристику (рис. 1).

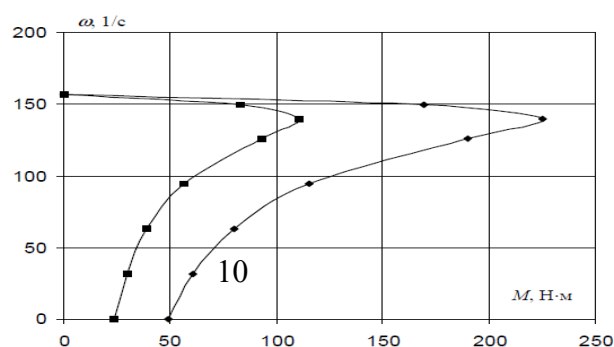
$s$	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,11	0,05	0
$\omega, 1/c$	0	31,4	62,8	94,5	125,6	139,7	149,2	157
$M, Н \cdot м$	48,9	60,7	79,8	115	190	225	169,5	0

8. Определяем критический (максимальный) момент АД при уменьшении напряжения на обмотке статора, Н·м

$$M_{кр.U} = \lambda_{M.U} M_{ном} = \left[ \lambda_{ном} \left( \frac{U_1}{U_{1ном}} \right)^2 \right] M_{ном} = 2,3 \cdot \left( \frac{0,7 \cdot 220}{220} \right)^2 98 = 110,4$$

9. По формуле Клосса определяют момент при пониженном напряжении, результаты заносят в соответствующую таблицу и строят искусственную механическую характеристику АД.

$s$	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,11	0,05	0
$\omega, 1/c$	0	31,4	62,8	94,5	125,6	139,7	149,2	157
$M, Н \cdot м$	23,96	29,74	39,1	56,35	93,1	110,2	83	0



### Механические характеристики АД

10. Потребляемая АД мощность в режиме номинальной нагрузки, кВт

$$P_{1\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ном}}$$

11. Потребляемый АД ток в режиме номинальной нагрузки, А

$$I_{1\text{ном}} = P_{1\text{ном}} / (3U_1 \cos \varphi_{1\text{ном}})$$

12. Пусковой ток двигателя, А

$$I_{\pi} = I_{1\text{ном}} (I_{\pi} / I_{1\text{ном}})$$

13. Суммарные потери двигателя при номинальной нагрузке, кВт

$$\sum P = P_{1\text{ном}} - P_{\text{ном}}$$

14. Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1}$$

Исходные данные

Номер вари- анта	$U_{\text{ном}}$ В	$P_{\text{ном}}$ кВт	$S_{\text{ном}}$ %	$\eta_{\text{ном}}$	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = \lambda$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	380	75	3,0	0,925	0,92	2,0	1,1	7,0
2	380	55	3,0	0,925	0,92	2,0	1,1	7,0
3	380	40	3,0	0,925	0,92	2,0	1,1	7,0
4	380	30	3,0	0,91	0,91	2,0	1,2	7,0
5	380	22	3,0	0,90	0,90	2,0	1,2	7,0
6	380	17	3,0	0,89	0,89	2,0	1,3	6,5
7	380	13	3,0	0,865	0,89	2,0	1,3	6,5
8	380	10	3,0	0,865	0,87	2,0	1,4	6,5
9	220	100	2,5	0,915	0,92	2,2	1,2	6,5
10	220	75	3,0	0,90	0,92	2,2	1,9	7,0
11	220	55	3,0	0,90	0,92	2,2	1,9	7,0
12	220	40	3,0	0,89	0,91	2,2	1,2	7,0
13	220	30	3,0	0,89	0,90	2,2	1,1	7,0
14	220	22	3,5	0,88	0,90	2,2	1,1	6,5
15	220	17	3,5	0,88	0,90	2,2	1,2	6,5
16	220	13	3,5	0,88	0,88	2,2	1,5	6,5
17	220	10	4,0	0,88	0,89	2,2	1,5	6,5
18	220	7,5	3,5	0,87	0,89	2,2	1,6	7,0
19	220	5,5	3,0	0,86	0,88	2,2	1,7	7,0
20	220	4,0	2,0	0,855	0,89	2,2	1,7	7,0

Примечание :

Число пар полюсов  $p = 3$ .

По результатам расчетного задания выставляется:

- 15 баллов, если правильно выполнено 100% заданий.
- 14 баллов, если правильно выполнено 75...89% заданий.
- 13 баллов, если правильно выполнено 60...74% заданий

**Для промежуточной аттестации:**

**Экзамен**

Проводится в письменной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 45 минут.

Экзаменационные вопросы:

1. Конструкция силовых трансформаторов, классификация трансформаторов
2. Параметры силовых трансформаторов
3. Принцип работы и основные соотношения в трансформаторе
4. Опыт короткого замыкания. Определение параметров схемы замещения трансформатора
5. Опыт холостого хода. Определение параметров схемы замещения трансформатора
6. Мощность потерь и КПД трансформатора
7. Устройство асинхронного двигателя, классификация
8. Принцип действия асинхронной машины и режимы ее работы
9. Электродвижущие силы в обмотках статора и ротора асинхронного двигателя
10. Токи в обмотках статора и ротора асинхронного двигателя
11. Схема замещения асинхронного двигателя
12. Энергетический баланс асинхронного двигателя
13. Электромагнитный момент асинхронного двигателя
14. Механическая характеристика АД. Уравнение Клосса

15. Пуск, реверс асинхронного двигателя
16. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
17. Общие сведения, устройство синхронной машины
18. Принцип работы синхронной машины
19. Холостой ход синхронной машины
20. Работа под нагрузкой синхронной машины
21. Реакция якоря синхронной машины
22. Схема замещения, уравнение равновесия синхронного генератора
23. ЭДС и МДС синхронного генератора, упрощенная векторная диаграмма синхронного явнополюсного генератора
24. Автономный режим работы синхронного генератора. Характеристики холостого хода и короткого замыкания синхронного генератора
25. Внешняя характеристика синхронного генератора
26. Мощность и электромагнитный момент синхронной машины
27. Включение синхронного генератора на параллельную работу
28. Параллельная работа синхронного генератора с сетью. Угловая характеристика
29. Параллельная работа синхронного генератора с сетью. U-образная характеристика
30. Работа синхронной машины в режиме синхронного двигателя. Пуск двигателя
31. Устройство электрической машины постоянного тока, классификация
32. Работа электрической машины постоянного тока в режиме генератора. Принцип действия, основные уравнения
33. Реакция якоря генератора постоянного тока
34. Генераторы с независимым возбуждением. Характеристики генераторов
35. Принцип самовозбуждения генератора с параллельным возбуждением
36. Работа электрической машины постоянного тока в режиме двигателя. Принцип действия, основные уравнения
37. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока
38. Регулирование скорости электродвигателя постоянного тока
39. Пуск и реверс электродвигателя постоянного тока
40. Универсальные коллекторные двигатели. Устройство. Принципиальная схема
41. Основные уравнения, описывающие работу универсального коллекторного двигателя от сети постоянного и переменного тока

Критерии выставления оценки на устном экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.



Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета;
- б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее;
- в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

## **5 семестр**

### **Тест №1 «Режимы работы электроприводов»**

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 10 минут.

Пример варианта теста:

1. Асинхронный двигатель может работать в тормозных режимах
  - 1) при динамическом торможении и торможении с отдачей энергии в сеть;
  - 2) при динамическом торможении, торможении противовключением, торможении с отдачей энергии в сеть; \*
  - 3) при динамическом торможении и торможении противовключением.
2. Режим торможения противовключением может быть получен тогда, когда:
  - 1) момент нагрузки равен пусковому моменту;
  - 2) момент нагрузки меньше пускового момента;
  - 3) момент нагрузки больше пускового момента.\*
3. Переходным режимом электропривода называют режим работы при переходе от одного установившегося состояния к другому, когда изменяются:
  - 1) скорость и момент;
  - 2) ток;
  - 3) скорость, момент, ток.\*
4. Двигатель последовательного возбуждения может работать в тормозных режимах:
  - 1) при динамическом торможении и торможении с отдачей энергии в сеть;
  - 2) при торможении с отдачей энергии в сеть и торможении противовключением;
  - 3) при торможении противовключением и динамическом торможении. \*
5. Динамическое торможение асинхронного двигателя возможно:
  - 1) при скорости выше синхронной;
  - 2) при движущем моменте нагрузки;
  - 3) при включении обмотки статора на сеть постоянного тока.\*
  - 4) скоростях и малом эквивалентном токе.
6. Рекуперативное торможение происходит при вращении электродвигателя со скоростью
  - 1) Равной номинальной
  - 2) Равной скорости идеального холостого хода
  - 3) Больше скорости идеального холостого хода
  - 4) Меньше скорости идеального холостого хода, но больше номинальной

По результатам тестирования выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 7-9 баллов, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
- 6 баллов, если правильно выполнено не менее 60% заданий.

### **Тест №2 «Виды управления электроприводом»**

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 10 минут.

Пример варианта теста:

1. Механической характеристикой электродвигателя называется:
  - 1) зависимость частоты вращения двигателя от тока якоря;
  - 2) зависимость частоты вращения от величины вращающего электромагнитного момента;\*
  - 3) зависимость частоты вращения двигателя от момента нагрузки.
2. По степени управляемости электропривод может быть:
  - 1) нерегулируемый, следящий, программно-управляемый, регулируемый;
  - 2) нерегулируемый, следящий, редукторный, программно-управляемый, регулируемый;
  - 3) нерегулируемый, адаптивный, следящий, программно-управляемый, регулируемый.\*
3. Способы регулирования угловой скорости двигателя постоянного тока
  - 1) изменением тока возбуждения двигателя, изменением сопротивления цепи якоря посредством резисторов, изменением подводимого к якорю двигателя напряжения \*
  - 2) изменением момента нагрузки двигателя, изменением сопротивления цепи якоря посредством резисторов, изменением подводимого к якорю двигателя напряжения
  - 3) изменением тока возбуждения двигателя, изменением сопротивления цепи якоря посредством резисторов, изменением момента нагрузки двигателя
4. Способ регулирования угловой скорости двигателя постоянного тока, при котором изменяется жесткость механической характеристики ЭД
  - 1) реостатный\*
  - 2) изменения подводимого к якорю двигателя напряжения
  - 3) изменения тока возбуждения
5. Способ регулирования угловой скорости ЭД, замыкающих отдельные ступени резисторов
  - 1) реостатное \*
  - 2) изменением подводимого к якорю двигателя напряжения
  - 3) изменением тока возбуждения
6. Для изменения направления вращения чаще всего применяют на практике
  - 1) динамическое торможение;
  - 2) \*торможение противовключением;
  - 3) торможение с отдачей энергии в сеть.

По результатам тестирования выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 7-9 баллов, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
- 6 баллов, если правильно выполнено не менее 60% заданий.

### Тест № 3 «Энергетические характеристики электропривода»

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 10 минут.

Пример варианта теста:

1. Потери мощности на валу двигателя определяют КПД привода по формуле

- 1) 
$$* \eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_2}$$

- 2) 
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 - \Delta P_2}$$

2. Если регулирование ведётся в главных цепях машин, то потери энергии в электроприводе
    - 1) велики\*
    - 2) малы
    - 3) неизменны
  3. Энергетические показатели регулируемого электропривода за цикл зависят
    - 1) \*от режима работы
    - 2) момента нагрузки
    - 3) момента сопротивления
  4. Относительный перепад угловой скорости со снижением напряжения
    - 1) не изменяется
    - 2) уменьшается
    - 3) увеличивается\*
  5. В замкнутых системах диапазон регулирования может достигать
    - 1) 1000 : 1\*
    - 2) 200: 1
    - 3) 500: 1
  6. Потери мощности в якорной цепи при постоянном моменте нагрузки
    - 1) не изменяется\*
    - 2) увеличивается
    - 3) уменьшается
- По результатам тестирования выставляется:
- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
  - 7-9 баллов, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
  - 6 баллов, если правильно выполнено не менее 60% заданий.

#### **Тест № 4 «Энерго- и ресурсосбережение в электроприводе»**

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 10 минут.

Пример варианта теста:

1. Если регулирование ведётся в цепях возбуждения, то потери энергии в электроприводе
  - 1) неизменны
  - 2) велики
  - 3) малы\*
2. Главным преимуществом двигателей постоянного тока является...
  - 1) дешевизна
  - 2) простота конструкции
  - 3) очень высокая надежность
  - 4) широкие пределы регулирования скорости и большой пусковой момент \*
3. Для повторно-кратковременного режима работы целесообразно применять специальные двигатели
  - 1) не обладающие значительной перегрузочной способностью
  - 2) обладающие значительной перегрузочной способностью и повышенным пусковым моментом\*

- 3) обладающие повышенным пусковым моментом
4. КПД тиристорного выпрямителя определяется
  - 1) КПД трансформатора
  - 2) произведением КПД трансформатора и вентиляей\*
  - 3) суммой КПД трансформатора и вентиляей
5. При уменьшении полезной мощности КПД двигателя
  - 1) не уменьшается
  - 2) уменьшается\*
  - 3) увеличивается
6. Полезная мощность по мере снижения угловой скорости
  - 1) увеличивается
  - 2) уменьшается\*
  - 3) не изменяется

По результатам тестирования выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий.
- 7-9 баллов, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
- 6 баллов, если правильно выполнено не менее 60% заданий.

### **Контрольная работа «Регулирования угловой скорости электроприводов постоянного и переменного тока»**

1 вариант: 1.Замкнутые схемы управления электроприводов с ДПТ по скорости  
2.Способы регулирования частоты вращения АД:частотой питающего тока

2 вариант: 1.Система «ТРН—АД»  
2.Способы регулирования частоты вращения АД:сопротивлениями в статорной или роторной цепях

По результатам тестирования выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено не менее 90 % заданий.
- 9 баллов, если правильно выполнено не менее 80 % заданий;
- 8 баллов, если правильно выполнено не менее 60 % заданий.

### **РГР «Расчет пусковой диаграммы и пусковых сопротивлений для автоматического пуска асинхронного двигателя с фазным ротором»**

Содержание задания.

Для трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором рассчитать пусковые сопротивления построить пусковую диаграмму.

Данные для расчета приведены в таблице 1.

1. Номинальное напряжение 380 В (для всех вариантов).
2. Номинальная мощность  $P_n$ , кВт.
3. Синхронная частота вращения,  $n_1$ , об/мин.
4. Номинальное скольжение,  $S_n$ , %.
5. Отношение максимального момента к номинальному,  $M_{кр}/M_n$ ,
6. ЭДС ротора  $E_{2н}$ , В.
7. Номинальный ток ротора  $I_{2н}$ , А
8. Пуск форсированный
9. Статический момент  $M_c = M_n$

По результатам расчетного задания выставляется:

- 10 баллов, если правильно выполнено 100% заданий.
- 9 баллов, если правильно выполнено 75...89% заданий.
- 8 баллов, если правильно выполнено 60...74% заданий

## Экзамен

Проводится в письменной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 40 минут.

### БИЛЕТ № 1

1. Структурная схема электропривода, классификация электроприводов
2. Регулирование скорости асинхронных двигателей изменением частоты питающей сети. Система «ПЧ – АД»
3. Для ДПТ НВ рассчитать и построить естественную механическую характеристику, если  $P_H = 2,5$ , кВт,  $I_{ян} = 15$  А,  $n_n = 945$  об/мин,  $\eta_n = 80$  %.

### БИЛЕТ № 2

1. Основное уравнение движения электропривода. Виды движения
2. Регулирование скорости асинхронных двигателей изменением числа пар полюсов.
3. Для ДПТ НВ рассчитать и построить естественную электромеханическую характеристику, если  $P_H = 8$ , кВт,  $I_{ян} = 445$  А,  $n_n = 975$  об/мин,  $\eta_n = 83$  %.

### БИЛЕТ № 3

1. Механические характеристики механизмов и электродвигателей. Жёсткость механических характеристик
2. Регулирование координат асинхронного двигателя изменением напряжения питающей сети Система «ТРН – АД»
3. Для ДПТ НВ рассчитать и построить механическую в режиме динамического торможения, если  $P_H = 2,5$ , кВт,  $I_{ян} = 15$  А,  $n_n = 945$  об/мин,  $\eta_n = 80$  %.

### БИЛЕТ № 4

1. Показатели регулирования скорости ЭП
2. Замкнутые электропривода с подчиненным регулированием координат
3. Для ДПТ НВ рассчитать и построить механическую в режиме торможения противовключением, если  $P_H = 2,5$ , кВт,  $I_{ян} = 15$  А,  $n_n = 945$  об/мин,  $\eta_n = 83$  %.

### БИЛЕТ № 5

1. Механические и скоростные характеристики двигателей постоянного тока независимого возбуждения
2. Пуск асинхронных двигателей с фазным ротором
3. Для ДПТ НВ рассчитать и построить механическую характеристику в режиме рекуперативного торможения, если  $P_H = 8$ , кВт,  $I_{ян} = 445$  А,  $n_n = 975$  об/мин,  $\eta_n = 83$  %.

### БИЛЕТ № 6

1. Статическая устойчивость механического движения
2. Замкнутая схема управления асинхронного электропривода, выполненного по системе «тиристорный регулятор напряжения—асинхронный двигатель» (ТРН—АД)
3. 3-х фазный асинхронный двигатель с К.З. ротором имеет следующие данные:  $P_1 = 17$  кВт;  $U_n = 380$  В;  $M_n = 49,3$  Н\*м;  $\eta = 0,88$ ;  $\cos \phi = 0,91$ ;  $f = 50$  Гц. Найти номинальную мощность и номинальную силу тока.

### БИЛЕТ № 7

1. Режимы работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения
2. Пуск и торможение синхронных двигателей
3. Для асинхронного двигателя с фазным ротором типа МТН определить номинальное и критическое скольжения, если  $P_2=3,5\text{ кВт}$ ;  $U_n=380\text{ В}$ ;  $n_n = 870\text{ об/мин}$ ;  $M_{\text{max}}=83\text{ Н*м}$ ;  $\eta=0,88$ ;  $\cos\phi=0,71$ ;

### БИЛЕТ № 8

1. Режимы работы двигателя постоянного тока последовательного возбуждения
2. Потери мощности и энергии электропривода при пуске и динамическом торможении
3. Выбрать защитный аппарат (автомат) для двигателя с параметрами  $P_{\text{ном}} = 5\text{ кВт}$ ,  $\cos\phi = 0,8$ ;  $\eta_{\text{ном}} = 85\%$ ,  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 7$ .

### БИЛЕТ № 9

1. Регулирование скорости двигателей постоянного тока изменением внешнего сопротивления в цепи якоря
2. Потери мощности и энергии электропривода при реверсе, торможении противовключением и рекуперативном торможении
3. Дать описание типовой схемы управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени

### БИЛЕТ № 10

1. Регулирование скорости двигателей постоянного тока изменением магнитного потока
2. Основные режимы работы электропривода
3. Дать описание типовой схемы управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением в две ступени в функции ЭДС

### БИЛЕТ № 11

1. Регулирование скорости двигателей постоянного тока изменением напряжения питающей сети. Система «ТП – Д»
2. Энергосбережение средствами электропривода
3. Выбрать защитный аппарат (автомат) для двигателя с параметрами  $P_{\text{ном}} = 17,5\text{ кВт}$ ,  $\cos\phi = 0,8$ ;  $\eta_{\text{ном}} = 85\%$ ,  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 7$ .

### БИЛЕТ № 12

1. Регулирование токов и моментов двигателей постоянного тока при пуске, реверсе, торможении
2. Принципы построения замкнутых схем управления электроприводом
3. Дать описание типовой схемы управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением в две ступени в функции динамического торможения в функции времени

### БИЛЕТ № 13

1. Регулирование (ограничение) тока и момента двигателя постоянного тока с помощью нелинейной отрицательной обратной связи по току
2. Замкнутый электрический привод с частотным управлением асинхронного двигателя

3. К цеховому магистральному шинопроводу типа ШМА подключен электродвигатель компрессорной установки с номинальной мощностью 28 кВт, напряжением 380 В,  $\cos\varphi = 0,8$ , к.п.д.  $\eta=0,9$ ,  $k_t=6,5$ . Требуется выбрать автоматический выключатель для защиты от перегрузки и КЗ. С учетом соответствия аппарату защиты выбрать питающий кабель

#### БИЛЕТ № 14

1. Механическая характеристика асинхронного двигателя. Уравнение Клосса
2. Замкнутые схемы управления электроприводов с двигателями постоянного тока по скорости
3. Для асинхронного двигателя с фазным ротором типа МТН определить номинальное и критическое скольжения, если  $P_2=8,2\text{ кВт}$ ;  $U_n=380\text{ В}$ ;  $n_n = 900$  об/мин;  $M_{\max}=314 \text{ Н*м}$ ;  $\eta=0,88$ ;  $\cos\varphi=0,71$ ;

#### БИЛЕТ № 15

1. Режимы работы асинхронного двигателя
2. Замкнутая схема электрического привода с двигателями постоянного тока с обратными связями по скорости и току
3. Дать описание типовой схемы управления короткозамкнутым АД с динамическим торможением

Критерии выставления оценки на устном экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета;
- б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее;
- в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.