

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пономарева Светлана Викторовна  
Должность: Проректор по УР и НО  
Дата подписания: 22.09.2023 21:43:24  
Уникальный программный ключ:  
bb52f959411e64617366ef2977b97e87139b1a2d



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**  
АВИАЦИОННЫЙ КОЛЛЕДЖ

УТВЕРЖДАЮ  
Директор колледжа  
В.А.Зибров

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине МДК.01.01 Электрические машины и аппараты  
основной образовательной программы по специальности СПО  
13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и  
электромеханического оборудования (по отраслям)  
базовой подготовки

Ростов-на-Дону  
2022 г.

### Лист согласования

Фонд оценочных средств по специальности среднего профессионального образования (далее - СПО) 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) разработан на основе Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС)

**Разработчик:**

Преподаватель

\_\_\_\_\_ В.В. Раковец  
личная подпись

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании цикловой комиссии Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Протокол №1 от «31» 08.2022 г.

Председатель цикловой комиссии \_\_\_\_\_ Н.И.Захаренко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**Согласовано:**

**Рецензенты:**

ООО «Строймонтажпроект»

Директор

С.М.Морозов

Авиационно-технологический колледж Председатель ЦК

Н.И.Захаренко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Одобен на заседании педагогического совета Авиационно-технологического колледжа, протокол № 1 от 31.08.2022 г.

Председатель педагогического совета \_\_\_\_\_ В.А.Зибров

## **1. Паспорт фонда оценочных средств**

Фонд оценочных средств (ФОС) предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу междисциплинарного курса Электрические машины и аппараты.

ФОС включает контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме контрольной работы и экзамена.

ФОС разработан в соответствии с основной профессиональной образовательной программой по специальности СПО 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям); программой профессионального модуля Организация простых работ по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

## **2. Результаты освоения учебной дисциплины, подлежащие проверке**

2.1. В результате аттестации по МДК осуществляется комплексная проверка следующих умений и знаний, а также динамика формирования общих и профессиональных компетенций, предусмотренных ФГОС:

У1. Определять электроэнергетические параметры электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем.

31. Технические параметры, характеристики и особенности различных видов электрических машин.

32. Классификация основного электрического и электромеханического оборудования отрасли.

37. Физические принципы работы, конструкция, технические характеристики, область применения, правила эксплуатации электрического и электромеханического оборудования

ОК 1 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам

ОК 2 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности

ОК 3 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие

ОК 4 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами

ОК 5 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста

ОК 6 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей

ОК 7 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях

ОК 8 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности

ОК 9 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности

ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках

ОК 11 Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере

ПК 1.1. Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.2. Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

<b>Результаты обучения: умения, знания и общие и профессиональные компетенции</b>	<b>Показатели оценки результата</b>	<b>Форма контроля и оценивания</b>
<p>У1. Определять электроэнергетические параметры электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем;</p> <p>31. Технические параметры, характеристики и особенности различных видов электрических машин;</p> <p>32. Классификация основного электрического и электромеханического оборудования отрасли;</p> <p>ОК 1 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам</p> <p>ОК 2 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности</p> <p>ОК 3 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие</p> <p>ОК 4 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами</p> <p>ОК 5 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста</p> <p>ОК 6 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей</p> <p>ОК 7 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях</p> <p>ОК 8 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности</p> <p>ОК 9 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- использование основных измерительных приборов;</li> <li>- определение электроэнергетических параметров электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем;</li> <li>- организация и выполнение наладки, регулировки и проверки электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- оценка эффективности работы электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- осуществление метрологической поверки изделий;</li> <li>- участие в предметных неделях, студенческих олимпиадах, конкурсах, внутри техникумовских и региональных мероприятиях;</li> <li>- участие в органах студенческого самоуправления;</li> <li>- участие в социально-проектной деятельности;</li> <li>- рациональность распределения времени на выполнение задания;</li> <li>- рациональность планирования и организации деятельности по выполнению технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- своевременность сдачи заданий, отчетов и прочих заданий;</li> <li>- обоснованность выбора и применения методов работы;</li> <li>- решение стандартных и нестандартных профессиональных задач в области технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- обоснованность выбора решения;</li> <li>- оценка рисков в принятии решений;</li> <li>- результативность поиска информации с использованием специальной литературы, ГОСТ, интернет-ресурсов, справочно-поисковых систем для выполнения профессиональной задачи;</li> <li>- использование различных источников, включая электронные;</li> <li>- обобщение, анализ, восприятие информации, постановка</li> </ul>	<p>Устный опрос по тематике занятия;</p> <p>оценка выполнения лабораторной работы;</p> <p>оценка выполнения практического задания;</p> <p>оценка выполнения контрольной работы;</p> <p>оценка выполнения самостоятельных работ, проводимых в начале урока с целью оценки домашней подготовки студента по контрольным вопросам по тематике занятия;</p> <p>оценка выполнения внеаудиторной самостоятельной работы;</p> <p>тестирование;</p> <p>оценки знаний и умений на дифференцированном зачете и экзамене.</p>

<p>ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках</p> <p>ОК 11 Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере</p> <p>ПК 1.1. Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования;</p> <p>ПК 1.2. Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования;</p> <p>ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования;</p> <p>ПК 1.4. Составлять отчётную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.</p>	<p>цели и выбор пути ее достижения;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- результативность самостоятельного обучения при изучении МДК;</li> <li>- самостоятельный, профессионально-ориентированный выбор тематики творческих и проектных работ;</li> <li>- чтение профессиональных журналов и книг;</li> <li>- стремление к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;</li> <li>- умение критически оценивать свои личностные качества, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков;</li> </ul>	
<p>37. Физические принципы работы, конструкция, технические характеристики, область применения, правила эксплуатации электрического и электромеханического оборудования;</p> <p>ОК 1 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам</p> <p>ОК 2 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности</p> <p>ОК 3 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие</p> <p>ОК 4 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами</p> <p>ОК 5 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- точность в описании физических процессов, принципов работы, фактов, изложении теорий и формулировке понятий;</li> <li>- полнота и содержательность ответов на вопросы;</li> <li>- перечисление технических характеристик и области применения электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- перечисление основных правил эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; соблюдение последовательности приемов и технологических операций;</li> <li>- рациональность распределения времени на выполнение задания;</li> <li>- рациональность планирования и организации деятельности по выполнению технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- своевременность сдачи заданий, отчетов и прочих заданий;</li> <li>- соответствие выбранных методов выполнения технического обслуживания и ремонта электрического и</li> </ul>	

<p>ОК 6 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей</p> <p>ОК 7 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях</p> <p>ОК 8 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности</p> <p>ОК 9 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности</p> <p>ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках</p> <p>ОК 11 Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере</p> <p>ПК 1.1. Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования;</p> <p>ПК 1.2. Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования;</p> <p>ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования;</p> <p>ПК 1.4. Составлять отчётную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.</p>	<p>электромеханического оборудования их целям и задачам;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обоснованность выбора и применения методов работы;</li> <li>- участие в предметных неделях, студенческих олимпиадах, конкурсах, внутри техникумовских и региональных мероприятиях;</li> <li>- участие в органах студенческого самоуправления;</li> <li>- участие в социально-проектной деятельности;</li> <li>- рациональность распределения времени на выполнение задания;</li> <li>- рациональность планирования и организации деятельности по выполнению технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- своевременность сдачи заданий, отчетов и прочих заданий;</li> <li>- соответствие выбранных методов выполнения технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования их целям и задачам;</li> <li>- обоснованность выбора и применения методов работы;</li> <li>- решение стандартных и нестандартных профессиональных задач в области технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования;</li> <li>- обоснованность выбора решения;</li> <li>- оценка рисков в принятии решений;</li> <li>- результативность поиска информации с использованием специальной литературы, ГОСТ, интернет-ресурсов, справочно-поисковых систем для выполнения профессиональной задачи;</li> <li>- использование различных источников, включая электронные;</li> <li>- обобщение, анализ, восприятие информации, постановка цели и выбор пути ее достижения;</li> <li>- демонстрация умений и навыков использования персонального компьютера с выходом в интернет;</li> <li>- оформление результатов самостоятельной работы с использованием ИКТ;</li> <li>- наличие лидерских качеств студента;</li> <li>- эффективность работы в группе в различных ситуациях;</li> </ul>	
---	---	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- умение вести переговоры, устанавливать контакты, урегулировать конфликты;</li> <li>- эффективность взаимодействия с сотрудниками предприятий при прохождении производственной практики;</li> <li>- проявление ответственности за работу подчиненных, результат выполнения заданий;</li> <li>- аргументированность обоснования планов и действий команды, микрогруппы, группы;</li> <li>- самоанализ и коррекция результатов собственной работы;</li> <li>- результативность самостоятельного обучения при изучении профессионального модуля;</li> <li>- самостоятельный, профессионально-ориентированный выбор тематики творческих и проектных работ;</li> <li>- составление резюме;</li> <li>- посещение дополнительных занятий и факультативов;</li> <li>- чтение профессиональных журналов и книг;</li> <li>- подготовка презентаций по новым технологиям и разработкам в ходе учебного процесса.</li> <li>- стремление к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;</li> <li>- умение критически оценивать свои личностные качества, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков;</li> </ul> <p>портфолио студента.</p>	
--	---	--



### **3. Описание правил оформления результатов оценивания**

#### **3.1. Формы и методы оценивания**

Предметом оценки служат умения и знания, предусмотренные ФГОС по МДК.01.01 Электрические машины и аппараты, направленные на формирование общих и профессиональных компетенций.

Текущий контроль по МДК.01.01 Электрические машины и аппараты осуществляется на учебных занятиях в ходе изучения каждой темы в виде устного и письменного контроля, защиты лабораторных работ, выполнения практических работ, самостоятельной работы, тестирования.

Промежуточный контроль проводится в 4 учебном семестре в форме контрольной работы, в форме экзамена по итогам изучения дисциплины в конце 5 учебного семестра.

### 3. Контроль и оценка освоения учебной дисциплины по темам (разделам)

Таблица 2

Элемент учебной дисциплины	Формы и методы контроля					
	Текущий контроль		Рубежный контроль		Промежуточная аттестация	
	Форма контроля	Проверяемые ОК, ПК (или ее части), У, З	Форма контроля	Проверяемые ОК, ПК (или ее части), У, З	Форма контроля	Проверяемые ОК, ПК (или ее части), У, З
1	2	3	4	5	6	7
<b>Тема 1.1 Трансформаторы</b>					КР экзамен	У1, 32, 37 ОК1 – ОК11 ПК1.1-ПК1.4
Рабочий процесс трансформатора.	Устный опрос Лабораторная работа № 1 Практические работы № 1 Самостоятельная работа	У1, 32, 37 ОК1-ОК11 ПК1.1-ПК1.3				
Трехфазные трансформаторы.	Устный опрос Практические работы № 2,3 Лабораторные работы № 3 Решение задач Самостоятельная работа	У1, 32, 37 ОК1, ОК2, ОК3, ОК8 ПК1.1- ПК1.4				
Группы соединения обмоток и параллельная работа трансформаторов.	Устный опрос Лабораторные работы № 2 Практические работы № 2,3 Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 33 ОК1, ОК2, ОК8, ОК9 ПК1.1- ПК1.4				
Специальные трансформаторы.	Устный опрос Лабораторные работы № 4 Тестирование Самостоятельная работа	У1, 32, 33 ОК1, ОК2, ОК3, ОК5, ОК6, ОК8, ОК9 ПК1.1- ПК1.4				
<b>Тема 1.2 Электрические машины переменного тока</b>					КР экзамен	У1, 31, 32, 37 ОК1 – ОК11 ПК1.1-ПК1.4
Режимы работы и устройство асинхронной машины.	Устный опрос Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				
Рабочий процесс трехфазного асинхронного двигателя.	Устный опрос Самостоятельная работа	У1, 31, 33 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				

1	2	3	4	5	6	7
Электромагнитный момент и рабочие характеристики асинхронного двигателя.	Устный опрос Лабораторные работы № 5 Практические работы № 4 Решение задач Самостоятельная работа	У1, 31, 37 ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Пуск и регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного двигателя.	Устный опрос Лабораторные работы № 6 Самостоятельная работа	У1, 31, 37 ОК1, ОК2, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Однофазный и конденсаторный асинхронные двигатели.	Устный опрос Лабораторные работы № 7 Тестирование Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 37 ОК1, ОК5, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Способы возбуждения и характеристики синхронных генераторов.	Устный опрос Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				
Магнитное поле и характеристики синхронных генераторов.	Устный опрос Лабораторные работы № 8 Практические работы № 5 Самостоятельная работа	У1, 31, 37 ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Параллельная работа синхронных генераторов.	Устный опрос Лабораторные работы № 9 Самостоятельная работа	У1, 31, 37 ОК1, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Синхронные двигатели и компенсаторы	Устный опрос Лабораторные работы № 10,11 Практические работы № 6 Тестирование Самостоятельная работа	У1, 31,32, 37 ОК1,ОК4, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
<b>Тема 1.3 Электрические машины постоянного тока</b>					экзамен	У1, 31, 32, 37 ОК1 – ОК11 ПК1.1-ПК1.4
Принцип действия и устройство коллекторных машин постоянного тока.	Устный опрос Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				

1	2	3	4	5	6	7
Обмотки якоря машин постоянного тока.	Устный опрос Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				
Магнитное поле машин постоянного тока.	Устный опрос Решение задач Самостоятельная работа	У1, 31, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				
Коммутация в машинах постоянного тока.	Устный опрос Самостоятельная работа	У1, 31, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				
Генераторы постоянного тока.	Устный опрос Лабораторные работы № 12,13 Практические работы № 7,8 Решение задач Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 37 ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Двигатели постоянного тока.	Устный опрос Лабораторные работы № 14,15 Практические работы № 9,10 Решение задач Самостоятельная работа	У1, 31, 32, 37 ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Потери и КПД машин постоянного тока	Устный опрос Решение задач Тестирование Самостоятельная работа	У1, 31, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				
<b>Тема 1.4 Электрические аппараты.</b>					экзамен	У1, 32, 37 ОК1 – ОК11 ПК1.1-ПК1.4
Основы теории электрических аппаратов.	Устный опрос Тестирование Самостоятельная работа	У1, 32, 37 ОК1, ОК9 ПК1.1-ПК1.3				
Электрические аппараты низкого напряжения.	Устный опрос Практические работы № 11,12,13,14,15 Тестирование Самостоятельная работа	У1, 32, 37 ОК1-ОК9 ПК1.1-ПК1.4				
Высоковольтные аппараты распределительных устройств.	Устный опрос Тестирование Самостоятельная работа	У1, 32, 37 ОК1-ОК9 ПК1.1-ПК1.3				

1	2	3	4	5	6	7
Бесконтактные электрические аппараты.	Устный опрос Практические работы № 16,17 Решение задач Самостоятельная работа	У1, 32, 37 ОК1-ОК9 ПК1.1-ПК1.4				

#### 4. Фонд оценочных средств

##### 4.1. Задания промежуточной аттестации

##### 4.1.1 в форме контрольной работы

Таблица 3

Перечень объектов контроля и оценки

Предмет оценивания	Объекты оценивания	Показатель оценки	Критерии оценки
1	2	3	4
У1, ОК1, ОК2, ОК 3, ОК4, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.3	Задание 2, 4, 7, 13, 16, 17, 18, 27	<ul style="list-style-type: none"><li>- определение электроэнергетических параметров электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем;</li><li>- подбор по справочным материалам электрических машин и аппаратов,</li><li>- электротехнических устройств и систем для заданных условий эксплуатации;</li></ul>	<p>Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он набрал – 5 баллов.</p> <p>Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он набрал – 4 балла.</p>
31, ОК1, ОК2, ОК 3, ОК4, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.3	Задание 1, 11- 30	<ul style="list-style-type: none"><li>- перечисление технических параметров, характеристики и особенности различных видов электрических машин;</li><li>- умение отобрать существенный материал для раскрытия поставленных вопросов;</li><li>- логичность и последовательность в раскрытии вопроса;</li></ul>	<p>Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал –3 балла.</p>
32, ОК1, ОК2, ОК 3, ОК4, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.3	Задание 1, 2, 3, 8, 11, 25, 26	<ul style="list-style-type: none"><li>- умение составлять классификаторы основного электрического и электромеханического оборудования отрасли;</li><li>- умение отобрать существенный материал для раскрытия поставленных вопросов;</li></ul>	<p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал – от 0 – 2 баллов.</p>
37, ОК1, ОК2, ОК 3, ОК4, ОК5, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4	Задание 2- 10, 12-30	<ul style="list-style-type: none"><li>- точность в описании физических процессов, принципов работы, фактов, изложении теорий и формулировке понятий;</li><li>- полнота и содержательность ответов на вопросы;</li><li>- перечисление технических характеристик и области применения электрического и электромеханического оборудования;</li><li>- перечисление основных правил эксплуатации электрического и электромеханического оборудования;</li><li>- соблюдение последовательности приемов и технологических операций;</li></ul>	

##### 4.1.2 Задание 1. Назначение электрических машин и трансформаторов.

**Задание 2.** Назначение, устройство и принцип действия однофазных трансформаторов. Уравнения напряжений трансформатора.

**Задание 3.** Назначение, устройство и принцип действия трехфазных трансформаторов.

**Задание 3.** Физические процессы, протекающие в трансформаторе в режиме холостого хода.

- Задание 4.** Уравнения ЭДС И МДС трансформатора.
- Задание 5.** Опытное определение параметров схемы замещения трансформаторов.
- Задание 6.** Внешняя характеристика трансформатора.
- Задание 7.** Потери и КПД трансформатора.
- Задание 8.** Группы соединения обмоток трансформаторов.
- Задание 9.** Назначение и условия включения трансформаторов на параллельную работу.
- Задание 10.** Трехобмоточные трансформаторы. Принцип работы автотрансформаторов.
- Задание 11.** Классификация электрических машин.
- Задание 12.** Принцип действия асинхронного двигателя.
- Задание 13.** Режимы работы асинхронной машины.
- Задание 14.** Устройство асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и с фазным ротором.
- Задание 15.** Магнитная цепь асинхронной машины.
- Задание 16.** Рабочий процесс трехфазного асинхронного двигателя.
- Задание 17.** Потери и КПД асинхронного двигателя. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.
- Задание 18.** Электромагнитный момент и механические характеристики асинхронного двигателя.
- Задание 19.** Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
- Задание 20.** Характеристики холостого хода и короткого замыкания трехфазного асинхронного двигателя.
- Задание 21.** Пусковые свойства асинхронного двигателя.
- Задание 22.** Пуск двигателей с фазным ротором и с короткозамкнутым ротором.
- Задание 23.** Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя.
- Задание 24.** Назначение, устройство и принцип действия однофазного асинхронного двигателя.
- Задание 25.** Способы возбуждения синхронных машин.
- Задание 26.** Типы синхронных машин и их устройство.
- Задание 27.** Магнитная цепь и магнитное поле синхронной машины.
- Задание 28.** Реакция якоря синхронной машины и ее виды.
- Задание 29.** Характеристики синхронного генератора.
- Задание 30.** Потери и КПД синхронных машин.

#### 4.1.2 в форме экзамена

Таблица 4

Перечень объектов контроля и оценки

Предмет оценивания	Объекты оценивания	Показатель оценки	Критерии оценки
1	2	3	4
У1, ОК1, ОК2, ОК 3, ОК4, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.3	Задание 1 Задание 2 Задание 3 Задание 4	- определение электроэнергетических параметров электрических машин и аппаратов, электротехнических устройств и систем; - подбор по справочным материалам электрических машин и аппаратов; - электротехнических устройств и систем для заданных условий эксплуатации;	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он набрал – от 23 до 25 баллов.

1	2	3	4
31, ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.3		- перечисление технических параметров, характеристики и особенности различных видов электрических машин; - умение отобрать существенный материал для раскрытия поставленных вопросов; - логичность и последовательность в раскрытии вопроса;	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он набрал – от 17 до 22 баллов.
32, ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.3	Задание 1 Задание 2 Задание 3 Задание 4	- умение составлять классификаторы основного электрического и электромеханического оборудования отрасли; - умение отобрать существенный материал для раскрытия поставленных вопросов;	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал – от 12 до 16 баллов.
37, ОК1, ОК2, ОК3, ОК4, ОК5, ОК6, ОК7, ОК8, ОК9 ПК1.1-ПК1.4	Задание 1 Задание 2 Задание 3 Задание 4	- точность в описании физических процессов, принципов работы, фактов, изложении теорий и формулировке понятий; - полнота и содержательность ответов на вопросы; - перечисление технических характеристик и области применения электрического и электромеханического оборудования; - перечисление основных правил эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; - соблюдение последовательности приемов и технологических операций;	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал – менее 12 баллов.

### **Задание 1.**

- 1) Назначение электрических машин и трансформаторов.
- 2) Назначение, устройство и принцип действия однофазных трансформаторов.
- 3) Уравнения напряжений трансформатора.
- 4) Назначение, устройство и принцип действия трехфазных трансформаторов.
- 5) Уравнения ЭДС И МДС трансформатора.
- 6) Опытное определение параметров схемы замещения трансформаторов.
- 7) Внешняя характеристика трансформатора.
- 8) Потери и КПД трансформатора.
- 9) Принцип регулирования напряжения трансформатора.
- 10) Группы соединения обмоток трансформаторов.
- 11) Назначение и условия включения трансформаторов на параллельную работу.
- 12) Трехобмоточные трансформаторы.
- 13) Принцип работы автотрансформаторов.
- 14) Трансформаторы специального назначения.
- 15) Электрические машины как электромеханические преобразователи энергии.  
Классификация электрических машин.
- 16) Назначение и принцип действия синхронного генератора.



- 17) Принцип действия асинхронного двигателя.
- 18) Основные типы обмоток статора безколлекторных машин.
- 19) Режимы работы асинхронной машины.
- 20) Устройство асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
- 21) Устройство асинхронных двигателей с фазным ротором.
- 22) Магнитная цепь асинхронной машины.
- 23) Рабочий процесс трехфазного асинхронного двигателя.
- 24) Потери и КПД асинхронного двигателя. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.
- 25) Электромагнитный момент и механические характеристики асинхронного двигателя.
- 26) Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении напряжения сети.
- 27) Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении сопротивления обмотки статора.
- 28) Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
- 29) Характеристики холостого хода трехфазного и короткого замыкания трехфазного асинхронного двигателя.
- 30) Пусковые свойства асинхронного двигателя.
- 31) Пуск двигателей с фазным ротором и с короткозамкнутым ротором.

## **Задание 2.**

- 1) Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя.
- 2) Назначение, устройство и принцип действия однофазного асинхронного двигателя.
- 3) Назначение, устройство и принцип действия асинхронной машины специального назначения.
- 4) Способы возбуждения синхронных машин.
- 5) Типы синхронных машин и их устройство.
- 6) Магнитная цепь и магнитное поле синхронной машины.
- 7) Реакция якоря синхронной машины и ее виды.
- 8) Уравнения напряжений синхронного генератора.
- 9) Характеристики синхронного генератора.
- 10) Потери и КПД синхронных машин.
- 11) Назначение параллельной работы синхронных генераторов.
- 12) Нагрузка генератора, включенного на параллельную работу.
- 13) Угловые характеристики синхронного генератора.
- 14) Колебание ротора синхронного двигателя и способы их уменьшения.
- 15)  $U$  –образные характеристики синхронного генератора.
- 16) Принцип действия синхронного двигателя.
- 17) Способы пуска синхронных двигателей.
- 18)  $U$  –образные и рабочие характеристики синхронного двигателя.
- 19) Назначение, устройство и принцип действия синхронного компенсатора.
- 20) Принцип действия машин постоянного тока.
- 21) Устройство коллекторной машины постоянного тока.
- 22) Основные сведения об якорных обмотках машин постоянного тока.
- 23) Магнитная цепь машины постоянного тока и принцип ее расчета.

- 24) Реакция якоря машины постоянного тока.
- 25) Устранение вредного влияния реакция якоря.
- 26) Способы возбуждения машин постоянного тока.
- 27) Коммутация в машинах постоянного тока, способы улучшения коммутации.
- 28) Классификация генераторов постоянного тока по способу возбуждения. Условия самовозбуждения.
- 29) Схема и характеристики генератора постоянного тока независимого возбуждения.
- 30) Схема и характеристики генератора постоянного тока параллельного возбуждения.
- 31) Схема и характеристики генератора постоянного тока смешанного возбуждения.

### **Задание 3.**

- 1) Классификация двигателей постоянного тока.
- 2) Пуск двигателей постоянного тока.
- 3) Схема и характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
- 4) Регулирование частоты вращения двигателей параллельного возбуждения.
- 5) Режимы работы машины постоянного тока.
- 6) Схема и характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.
- 7) Схема и характеристики двигателя постоянного тока смешанного возбуждения.
- 8) Потери и КПД машин постоянного тока.
- 9) Физические явления в электрических контактах. Типы контактов. Основные конструкции контактных соединений. Параметры контактных соединений.
- 10) Способы гашения электрической дуги.
- 11) Функциональное назначение аппаратов управления, защиты и автоматики, их классификация.
- 12) Назначение, классификация, устройство и принцип действия магнитных пускателей.
- 13) Назначение, классификация, устройство и принцип действия контакторов.
- 14) Назначение, классификация, устройство и принцип действия автоматических выключателей.
- 15) Классификация реле.
- 16) Применение реле в схемах управления, защиты и автоматики.
- 17) Работа и конструкция электромагнитного реле тока и напряжения.
- 18) Работа и конструкция реле времени.
- 19) Назначение, устройство и принцип действия предохранителей.
- 20) Назначение, классификация, устройство и принцип действия рубильников.
- 21) Назначение, устройство и принцип работы короткозамыкателей.
- 22) Назначение, области применения и основные технические характеристики разъединителей.
- 23) Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции разъединителей.
- 24) Назначение, устройство, принцип работы и основные элементы конструкции

отделителей.

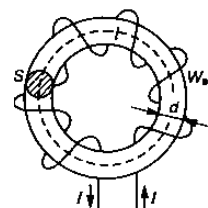
- 25) Назначение, области применения, основные технические характеристики высоковольтных выключателей.
- 26) Классификация высоковольтных выключателей.
- 27) Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции масляных выключателей.
- 28) Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции вакуумных выключателей.
- 29) Назначение, устройство, принцип работы и основные элементы конструкции токоограничивающих реакторов.
- 30) Назначение, устройство, принцип работы и основные элементы конструкции разрядников.
- 31) Назначение и область применения бесконтактных электрических аппаратов.

#### **Задание 4.**

- 1) Определить сечение магнитопровода, трансформатора с коэффициентом трансформации  $k = 32$ , подключенного к сети переменного тока с напряжением  $U_1 = 15$  кВ и с частотой  $f = 50$  Гц, если магнитная индукция в магнитопроводе  $B = 1,2$  Тл, а число витков вторичной обмотки  $w_2 = 254$ .
- 2) Определить сечение магнитопровода, трансформатора с коэффициентом трансформации  $k = 47$ , подключенного к сети переменного тока с напряжением  $U_1 = 25$  кВ и с частотой  $f = 50$  Гц, если магнитная индукция в магнитопроводе  $B = 1,5$  Тл, а число витков вторичной обмотки  $w_2 = 715$ .
- 3) Трансформатор подключили к сети переменного тока с напряжением  $U_1 = 220$  В и частотой  $f = 50$  Гц. Определить коэффициент трансформации, если сердечник имеет активное сечение  $S = 6,5$  см<sup>2</sup>, наибольшая магнитная индукция  $B_m = 0,93$  Тл, а число витков вторичной обмотки  $w_2 = 56$ .
- 4) Однофазный трансформатор с номинальной мощностью  $S_{\text{ном}} = 250$  ВА при включении в сеть переменного тока с напряжением  $U_1 = 220$  В при холостом ходе на вторичной обмотке напряжение  $U_2 = 25$  В. Определить номинальные токи обмоток, коэффициент трансформации и число витков в первичной обмотке, если число витков во вторичной  $w_2 = 37$  (потерями трансформатора пренебречь).
- 5) Трехфазный трансформатор работает на осветительную сеть с нагрузкой 50 кВт. Вторичное напряжение при этой нагрузке  $U_2 = 220$  В, а первичное  $U_1 = 10$  кВ. Определить вторичный и первичный токи трансформатора, если обмотки в нем соединены по схеме  $Y/Y$ , а КПД и  $\cos\phi$  равны 0,85.
- 6) Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью  $S_{\text{ном}} = 1600$  кВа включен в сеть переменного тока с напряжением  $U = 10\,000$  В. При холостом ходе трансформатора, напряжение на зажимах вторичной обмотки  $U_2 = 400$  В. Определить коэффициент трансформации и число витков первичной обмотки, если число витков вторичной обмотки  $w_2 = 32$ .
- 7) Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью  $S = 160$  кВ·А включен в сеть переменного тока с частотой  $f = 50$  Гц. Определить ЭДС первичной и вторичной обмоток, если активное сечение стержня и ярма  $S = 183$  см<sup>2</sup>, наибольшая магнитная индукция в стержне  $B = 1,7$  Тл, число витков  $w_2 = 50$ .

- 8) Найти для трехфазного асинхронного двигателя ЭДС  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{2s}$  при скольжении  $s = 4\%$ , если известно, что амплитуда потока, приходящегося на один полюс и одну фазу; составляет  $\Phi_m = 0,72 \cdot 10^{-2}$  Вб, число витков обмоток статора и ротора соответственно  $w_1 = 580$ ,  $w_2 = 75$ ,  $f = 50$  Гц.
- 9) Напряжение питания трехфазного асинхронного двигателя  $U_1 = 660$  В, частота тока сети  $f = 50$  Гц, число пар полюсов  $p = 6$ . Пренебрегая падением напряжения в обмотке статора, определить ЭДС, индуцируемое в фазе обмотки ротора, и частоту, если ротор вращается с частотой  $n_2 = 1500$  об/мин. Коэффициент трансформации двигателя  $k = 25$ .
- 10) Асинхронный двигатель трехфазный с короткозамкнутым ротором, обмотки которого соединены по схеме  $\Delta$  и подключены к сети переменного тока с напряжением  $U = 220$  В, потребляет при  $\eta = 0,87$ ,  $\cos\varphi = 0,82$  и  $I = 27$  А. Частота вращения магнитного поля  $n_2 = 970$  об/мин. Определить сумму потерь, вращающий момент, число пар полюсов и скольжение.
- 11) Определить КПД асинхронного трехфазного двигателя, имеющего номинальную мощность  $P_2 = 200$  кВт, мощность холостого хода  $P_x = 7,8$  кВт и короткого замыкания  $P_k = 5,6$  кВт.
- 12) Трехфазный асинхронный двигатель потребляет из сети мощность  $P_1 = 1,875$  кВт при токе  $I_\phi = 3,5$  А и напряжение  $U = 220$  В. Чему равен коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и КПД, если полезная мощность на валу  $P_2 = 1,5$  кВт?
- 13) Трехфазный шестиполюсный асинхронный двигатель потребляет мощность  $P_1 = 5,6$  кВт при напряжении  $U = 380$  В и токе  $I_1 = 10$  А. Определить частоту вращения ротора  $n_2$ , полезную мощность  $P_2$ ,  $\cos\varphi$  и КПД, если момент двигателя  $M_2 = 39,2$  Н·м, скольжение  $s = 2\%$ , частота тока  $f = 50$  Гц.
- 14) Трехфазный десятиполюсный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие номинальные данные: номинальная мощность  $P_2 = 45$  кВт,  $U_{ном} = 220/380$  В,  $n_{2 ном} = 574$  об/мин, номинальный  $\cos\varphi = 0,74$  и  $\eta_{ном} = 86\%$ . Вычислить  $P_1$ , ток двигателя при соединении обмоток статора в  $Y$  и  $\Delta$ ,  $M_{ном}$ ,  $S_{ном}$ , если  $f = 50$  Гц.
- 15) Трехфазный асинхронный двигатель потребляет из сети мощность  $P_1 = 9,55$  кВт при токе  $I_1 = 36,36$  А и напряжение  $U = 220$  В. Определить коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и КПД, если полезная мощность на валу  $P_2 = 7,5$  кВт?
- 16) Асинхронный короткозамкнутый электродвигатель имеет следующие паспортные данные  $P_{ном} = 22$  кВт;  $U_{ном} = 380$  В;  $s_{ном} = 3,5\%$ ;  $p = 3$ ;  $\cos\varphi = 0,87$ ;  $\eta_{ном} = 0,895$ ;  $k_i = 7$ ;  $k_{max} = 1,8$ ;  $k_{п} = 1,2$ . Определить ток, потребляемый двигателем из сети, номинальную частоту вращения, номинальный, максимальный и пусковой моменты, а также пусковой ток.
- 17) Найти ЭДС, наводимую в обмотке якоря двигателя постоянного тока, если частота вращения двигателя  $1500$  об/мин, магнитный поток  $\Phi = 4,0 \cdot 10^{-2}$  Вб, а постоянная машина  $c_E = 25$ .
- 18) Обмотка якоря четырехполюсного двигателя постоянного тока имеет  $690$  проводников при двух парах параллельных ветвей. Магнитный поток машины  $0,012$  Вб при скорости вращения  $1500$  об/мин. Определите ЭДС, наводимую в обмотке якоря двигателя.
- 19) Найти ЭДС, наводимую в обмотке якоря двигателя постоянного тока, если частота вращения двигателя  $1000$  об/мин, магнитный поток  $\Phi = 2,0 \cdot 10^{-2}$  Вб, а постоянная машина  $c_E = 10$ .

- 20) Двигатель постоянного тока вращается с частотой  $n = 1500$  об/мин, магнитный поток  $\Phi = 2 \cdot 10^{-2}$  Вб. Сколько полюсов у двигателя, если отношение числа активных проводников обмотки якоря к числу пар ее параллельных ветвей равно 70? ЭДС двигателя  $E = 210$  В.
- 21) Определить ЭДС, наводимые в фазах статора и ротора асинхронного двигателя при неподвижном роторе и при роторе, вращающемся со скольжением  $s = 0,04$ . Число витков в обмотке статора  $w_1 = 360$ , ротора  $w_2 = 30$ , магнитный поток  $\Phi_m = 0,4 \cdot 10^{-2}$  Вб, частота тока  $f = 50$  Гц.
- 22) ЭДС шестиполюсного генератора постоянного тока  $E = 210$  В. Определить частоту вращения якоря, если магнитный поток полюса  $\Phi = 2 \cdot 10^{-2}$  Вб,  $N = 500$ ,  $a = 3$ .
- 23) Машина постоянного тока имеет следующие паспортные данные: 36 число пазов, число витков в пазу  $\omega = 10$ , число параллельных ветвей и число пар полюсов  $p = a = 2$ . Чему равен магнитный поток  $\Phi$ , необходимый для создания в обмотке якоря ЭДС  $E = 211$  В при частоте вращения 750 об/мин?
- 24) Найти сопротивление якоря, если ток якоря составляет 78 А, мощность генератора  $P_2 = 9,0$  кВт, а электромагнитная  $P_{эм} = 9,3$  кВт.
- 25) Двигатель постоянного тока питается от сети с напряжением  $U = 220$  В. потребляемый двигателем ток  $I = 40$  А, скорость вращения двигателя  $n = 2000$  об/мин, коэффициент полезного действия  $\eta = 0,85$ . Определить вращающий момент на валу двигателя.
- 26) Определить ток в катушке, имеющей 600 витков, и магнитную проницаемость сердечника, на котором расположена катушка, выполненном из литой стали, если магнитный поток, созданный током катушки в сердечнике  $\Phi = 8 \cdot 10^{-4}$  Вб. Размеры однородной магнитной цепи  $a = 25$  мм,  $b = 30$  мм,  $H = 120$  мм,  $L = 100$  мм.
- 27) По катушке с числом витков  $W = 500$  проходит ток 4 А. катушка расположена на сердечнике из электротехнической стали, размеры которого даны в мм. Определить магнитный поток  $\Phi$  в магнитопроводе однородной магнитной цепи, если  $d = 60$  мм,  $r = 180$  мм.



- 28) Для защиты трехфазного двигателя с номинальной мощностью  $P_{ном} = 21$  кВт, номинальным током 42,2 А, номинальным напряжением 380 В и кратностью пускового тока 6,5 установили предохранитель ПН2-50/50. Требуется проверить предохранитель на отключающую способность.
- 29) Рассчитать электрическую линию однофазного переменного тока для питания группы ламп мощностью  $P = 3,5$  кВт при напряжении питающей сети  $U = 220$  В и протяженностью линии  $L = 30$  м. Условия прокладки линии - в трубе, материал ее проводов - медь. Выбрать предохранители и токи плавких вставок для защиты от КЗ.
- 30) Выбрать автоматический выключатель для защиты асинхронного двигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, со следующими основными техническими данными: мощность  $P_{ном} = 7,5$  кВт; КПД  $\eta = 0,875$ ; коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,86$ ; коэффициент кратности пускового тока  $K_i = 7,5$ ; номинальное напряжение  $U = 380$  В.
- 31) Для защиты трехфазного двигателя с номинальной мощностью 2,2 кВт, номинальным током 12 А, номинальным напряжением 220 В и кратностью

пускового тока 4,5 установили предохранитель ПН2-50/25. Требуется проверить предохранитель на отключающую способность.

## 5.1. Условия

### 5.1.1 в виде контрольной работы

Количество вариантов задания для экзаменуемого – 30

Время выполнения задания – 0,25 час.

Оборудование:

Наглядные пособия, образцы, плакаты:

- 1) Трансформаторы
- 2) Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором
- 3) Асинхронные двигатели с фазным ротором
- 4) Однофазные двигатели

Плакаты:

- 1) ЭС - 7. Главный вид масляного трансформатора ТМ - 1000/10.
- 2) ЭС -51. Принцип действия трансформатора.

Эталоны ответов.

№ вопроса	ответ	№ вопроса	ответ	№ вопроса	ответ
1	2	3	4	5	6
Вариант 1		Вариант 11		Вариант 21	
1	1	1	3	1	1
2	2	2	3	2	2
3	1	3	1	3	2
4	1) $\frac{1730}{\sqrt{3} \cdot 50}$ ; 2) $\frac{1730}{50}$ ; 3) $\frac{\sqrt{3} \cdot 1730}{50}$	4	2, 3, 1	4	1
5	1500, 100, 500	5	91,67 А	5	$w_2 = 30$ витков
Вариант 2		Вариант 12		Вариант 22	
1	1	1	3	1	3
2	3	2	3	2	2
3	1	3	3	3	1
4	3	4	1 – А; 2 - Б	4	2
5	$K = 10/0,4 = 25$	5	$K = 5; w_2 = 500$ в.	5	24 А
Вариант 3		Вариант 13		Вариант 23	
1	1	1	3	1	3
2	1	2	2	2	3
3	3	3	1	3	1
4	4	4	3000, 1500, 1000, 750, 600, 500	4	$\frac{\sqrt{3}w_1}{w_2}; \frac{w_1}{\sqrt{3}w_2}; \frac{w_1}{w_2}; \frac{w_1}{w_2}$
5	$w_1 = \frac{22000 \cdot 110}{110} = 22000$ в	5	А, В, С – Х, У, Z	5	100 Гц

1	2	3	4	5	6
Вариант 4		Вариант 14		Вариант 24	
1	4	1	3	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	3	1	3	1
4	2	4	3, 1, 2	4	однофазный автотрансфор- матор
5	40 витков	5	K= 15	5	P <sub>2ном</sub> = 4,5 кВт
Вариант 5		Вариант 15		Вариант 25	
1	2	1	2	1	3
2	2	2	3	2	1
3	4	3	1	3	1
4	двухполюсной, восьмиполюсной, четырехполюсной, шестиполюсной	4	1, 2	4	3
5	w <sub>1</sub> = 16 витков	5	5308 ВА	5	η = 0,929
Вариант 6		Вариант 16		Вариант 26	
1	3	1	3	1	3
2	3	2	3	2	2
3	;	3	1	3	1
4	Y/Y; Δ/Y; Y/Δ; Δ/Δ	4	1 – А; 2 – Б	4	асинхронный двигатель с короткозамкну- тым ротором
5	0,937	5	E <sub>1</sub> = 216,8 В	5	21230 ВА
Вариант 7		Вариант 17		Вариант 27	
1	3	1	2	1	2
2	3	2	1	2	2
3	3	3	1	3	1
4	1 – Г; 2 – Б; 3 – А	4	$\frac{w_1}{w_2}; \frac{w_1}{\sqrt{3}w_2}; \frac{w_1}{w_2}; \frac{\sqrt{3}w_1}{w_2}$	4	1
5	24 А	5	W <sub>2</sub> = 495 витков	5	Y/Y; Δ/Y; Y/Δ; Δ/Δ
Вариант 8		Вариант 18		Вариант 28	
1	1	1	2	1	3
2	3	2	1	2	4
3	2	3	2	3	1
4	2,6; 7,8; 12,0	4	$\frac{1650}{\sqrt{3} \cdot 80}$ ; 2) $\frac{1650}{80}$ ; 3) $\frac{\sqrt{3} \cdot 1650}{80}$	4	1 – сердечник; 2 – полюсный наконечник; 3 – катушка обмотки возбуждения
5	30 витков	5		5	W <sub>2</sub> = 69 витков

1	2	3	4	5	6
Вариант 9		Вариант 19		Вариант 29	
1	3	1	2	1	1
2	2	2	1	2	2
3	1	3	3	3	1
4	17,3; 10,0; 22 В; 38 В	4	1 – стержневой, броневой; 2 – масляный, воздушный	4	2
5	$2p = 2; s = 1,67\%$	5	$n_2 = n_1(1-s) =$ $3000(1-0,04) =$ $2880 \text{ об/мин}$	5	$K = 26,3$
Вариант 10		Вариант 20		Вариант 30	
1	1	1	3	1	3
2	2	2	1	2	2
3	2	3	3	3	1
4	1 – 0,067; 2 – 0,003	4	Треугольник, С1, С2, С3 С6, С4, С5	4	Y/Y- 0; Y/Y - 6; Y/Δ- 5;
5	40 витков	5	$\Sigma P = 2100 \text{ Вт}$	5	$s = 0,0133$

Зачетная ведомость.

### 5.1.2 в виде экзамена

Количество вариантов задания для экзаменуемого – 30

Время выполнения задания – 0,25 час.

Оборудование:

Наглядные пособия, образцы, плакаты:

- 5) Трансформаторы
- 6) Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором
- 7) Асинхронные двигатели с фазным ротором
- 8) Однофазные двигатели
- 9) Автоматический выключатель АП-50.
- 10) Рубильник.
- 11) Магнитный пускатель ПМЕ, МПЛ.
- 12) Предохранители ПН-2, ПКТ.
- 13) Реле тока и напряжения.
- 14) Реле времени.
- 15) Разрядник РВО.
- 16) Дугогасительная решетка.

Плакаты:

- 3) ЭС - 7. Главный вид масляного трансформатора ТМ - 1000/10.
- 4) ЭС - 5. Предохранитель и автомат.
- 5) ЭС - 6. Короткозамыкатель типа КЗ -35; КЗ - 110, отделитель типа ОДЗ - 35 с ножами заземления.
- 6) ЭС - 9. Шкаф КРУ2 - 10П с выключателем ВМП - 10 и приводом ПМП - 10.
- 7) ЭС - 11. Основные части малообъемного масляного выключателя МГ - 35.
- 8) ЭС - 12. Малообъемный масляный выключатель МГ - 35 на 35 кВ.
- 9) ЭС - 13. Баковый выключатель МКП - 35 на 35 кВ.



- 10) ЭС - 16. Предохранители подстанционные.
- 11) ЭС - 20. Разрядник РВП - 10.
- 12) ЭС - 21. Разъединитель.
- 13) ЭС - 25. Трубчатый разрядник.
- 14) ЭС - 26. Вентильный разрядник РВС - 10.
- 15) ЭС - 28. Вакуумный выключатель.
- 16) ЭС - 31. Элегазовый выключатель.
- 17) ЭС - 32. Элегазовый выключатель.
- 18) ЭС - 35. Контактёр переменного тока.
- 19) ЭС-36. Реле тока серии РТ-80. Общий вид.
- 20) ЭС-39. Указательное реле типа РУ-21.
- 21) ЭС-40. Общий вид реле РТ-40.
- 22) ЭС-41. Общий вид реле РНТ-565.
- 23) ЭС-44. Реле типа РНТ-565.
- 24) ЭС-45. Кинетическая схема реле времени РВ-100.
- 25) ЭС-46. Общий вид реле РТ-40.
- 26) ЭС-49. Выключатель электромагнитный ВЭ10-40.
- 27) ЭС-50. Полюс воздушного выключателя ВНВ-220.
- 28) ЭС -51. Принцип действия трансформатора.

Эталоны ответов.

#### Экзаменационный билет № 1

**Задание 1.** Назначение, устройство и принцип действия однофазных трансформаторов.

*Трансформатором* называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две (или более) индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством явления электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока.

В общем случае вторичная система переменного тока может отличаться от первичной любыми параметрами: значениями напряжения и тока, числом фаз, формой кривой напряжения (тока), частотой. Наибольшее применение в электротехнических установках, а также в энергетических системах передачи и распределения электроэнергии имеют *силовые трансформаторы*, посредством которых изменяют значения переменного напряжения и тока. При этом число фаз, форма кривой напряжения (тока) и частота остаются неизменными.

В зависимости от назначения трансформаторы разделяют на силовые трансформаторы общего назначения и трансформаторы специального назначения. Силовые трансформаторы общего назначения применяются в линиях передачи и распределения электроэнергии, а также в различных электроустройствах для получения требуемого напряжения. Трансформаторы специального назначения характеризуются разнообразием рабочих свойств и конструктивного исполнения. К этим трансформаторам относятся печные и сварочные трансформаторы, трансформаторы для устройств автоматики (пик-трансформаторы, импульсные, умножители частоты и т.п.), испытательные и измерительные трансформаторы и т. д.

Принцип действия трансформаторов. Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника), выполненного из ферромагнитного материала (обычно листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода (рис. 1, а). Одна из обмоток, которую называют *первичной*, присоединена к источнику переменного тока  $\Gamma$  на напряжение  $U_1$ . К другой обмотке, называемой *вторичной*, подключен потребитель  $Z_n$ . Первичная и вторичная обмотки трансформатора не имеют электрической связи друг с другом, и мощность из одной обмотки в другую передается электромагнитным путем. Магнитопровод, на котором расположены эти обмотки, служит для усиления индуктивной связи между обмотками.

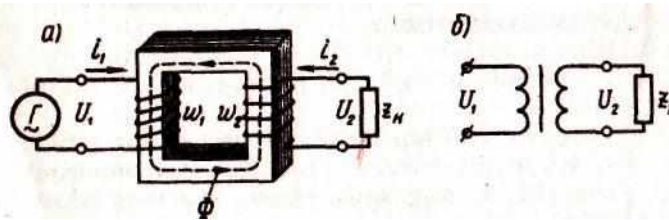


Рисунок 1 - Электромагнитная (а) и принципиальная (б) схемы трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток  $i_1$ , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток  $\Phi$ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и индуцирует в них ЭДС:

в первичной обмотке ЭДС самоиндукции

$$e_1 = - w_1 d\Phi/dt,$$

во вторичной обмотке ЭДС взаимной индукции

$$e_2 = - w_2 d\Phi/dt,$$

где  $w_1$  и  $w_2$  - число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

При подключении нагрузки  $Z_N$  к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС  $e_2$  в цепи этой обмотки создается ток  $i_2$ , а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение  $U_2$ . В повышающих трансформаторах  $U_2 > U_1$ , а в понижающих  $U_2 < U_1$ .

ЭДС  $e_1$  и  $e_2$ , наводимые в обмотках трансформатора, отличаются друг от друга лишь за счет разного числа витков  $w_1$  и  $w_2$  в обмотках, поэтому, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор практически на любое отношение напряжений.

**Задание 2.** Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя.

Частота вращения ротора в минуту определяется следующим выражением:

$$n_2 = n_1(1 - s) = (60f_1/p)(1 - s).$$

Из этого выражения видно, что частоту вращения ротора регулировать изменением любой из трех величин, определяющих её, т. е. изменением частоты тока сети  $f_1$ , числа пар полюсов  $p$  и скольжения  $s$ .

Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей изменением частоты тока сети сложно, так как необходим какой-либо регулирующий преобразователь частоты или генератор. Поэтому этот способ не имеет широкого применения.

Число полюсов машины может быть изменено, если на статоре имеется несколько (обычно две) обмоток с различным числом полюсов или одна обмотка, которую можно переключать на различное число полюсов, или две обмотки, каждая из которых может переключаться на различное число полюсов.

При изменении числа полюсов обмотки статора изменится частота вращения его магнитного поля, а следовательно, и частота вращения ротора двигателя.

Этот способ регулирования частоты вращения асинхронного двигателя экономичен, но недостатком его является ступенчатое изменение частоты.

Регулирование частоты вращения изменением числа полюсов применяют в двигателях с короткозамкнутым ротором; в двигателях с фазным ротором этот способ не используется, так как приходится одновременно изменять число полюсов обмотки статора и число полюсов обмотки вращающегося ротора, что весьма сложно.

Обычно встречаются двигатели с синхронными частотами вращения **500 - 750 - 1000 - 1500 об/мин**. Такие двигатели имеют на статоре две обмотки, каждая из которых может быть переключена на различное число полюсов.

Скольжение можно изменять регулировочным реостатом, введенным в цепь обмотки ротора, а также регулированием напряжения сети.

При регулировании напряжения питающей сети изменяется вращающий момент двигателя пропорционально квадрату напряжения.

При уменьшении вращающего момента уменьшится частота вращения ротора, т. е. увеличится скольжение.

Регулировочный реостат включается в цепь обмотки фазного ротора подобно пусковому реостату, но в отличие от пускового он рассчитывается на длительное прохождение тока.

При включении регулировочного реостата ток в роторе уменьшится, что вызовет снижение вращающего момента двигателя и, следовательно, уменьшение частоты вращения или увеличение скольжения.

При увеличении скольжения увеличивается ЭДС и ток в роторе. Частота вращения или скольжение будет изменяться до восстановления равновесия моментов, т. е. пока ток в роторе не примет своего начального значения. Этот способ регулирования частоты вращения может быть использован только в двигателях с фазным ротором, и несмотря на то что является неэкономичным (так как в регулировочном реостате происходит значительная потеря энергии), имеет широкое распространение.

### Задание 3. Классификация двигателей постоянного тока.

В зависимости от способа включения обмоток возбуждения и якоря различают такие схемы возбуждения двигателей постоянного тока (ДПТ):

- 1 - магнитоэлектрические ДПТ, здесь рабочий поток создается постоянными магнитами. Это, как правило, двигатели малой мощности.
- 2 - ДПТ параллельного возбуждения, здесь поле создается шунтовой обмоткой.
- ДПТ последовательного возбуждения, здесь для создания поля служит серийная обмотка.
- ДПТ смешанного возбуждения.

### Задание 4. Решение:

- 1) Определим число витков в первичной обмотке  
 $w_1 = k \cdot w_2; w_1 = 32 \cdot 254 = 8128$  витков

- 2) Определим магнитный поток

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4.44 f w_1}; \Phi_m = \frac{15000}{4.44 \cdot 50 \cdot 8128} = 0,0083 \text{ Вб}$$

- 2) Определим сечение магнитопровода

$$Q = \frac{\Phi_m}{B} = \frac{0,0083}{1,2} = 0,007 \text{ м}^2$$

### Экзаменационный билет № 2

#### Задание 1. Уравнения напряжений трансформатора.

Основной переменной магнитный поток  $\Phi$  в магнитопроводе трансформатора, сцепляясь с витками обмоток  $w_1$  и  $w_2$ , наводит в них ЭДС

$$e_1 = -w_1(d\Phi/dt); e_2 = -w_2(d\Phi/dt).$$

Предположим, что магнитный поток  $\Phi$  является синусоидальной функцией времени, т. е.

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t,$$

где  $\Phi_{\max}$  - максимальное значение потока.

Тогда после соответствующих преобразований получим действующее значение первичной ЭДС:

$$E_1 = 4,44 w_1 f \Phi_{\max}$$

Аналогично, для вторичной ЭДС:

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_{\max}$$

Отношение ЭДС обмотки высшего напряжения к ЭДС обмотки низшего напряжения называют *коэффициентом трансформации*:

$$k = E_1/E_2 = w_1/w_2. \quad (3.8)$$

При практических расчетах коэффициент трансформации с некоторым допущением принимают равным отношению номинальных напряжений обмоток ВН и НН:  $k \approx U_{1\text{ном}}/U_{2\text{ном}}$ .

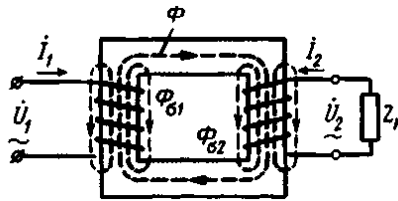


Рисунок 1 - Магнитные потоки в однофазном трансформаторе

Токи  $I_1$  и  $I_2$  в обмотках трансформатора помимо основного магнитного потока  $\Phi$  создают магнитные потоки рассеяния  $\Phi_{\sigma 1}$  и  $\Phi_{\sigma 2}$  (рис. 1), каждый из которых сцеплен с витками лишь собственной обмотки и индуцирует в ней ЭДС рассеяния. Эти ЭДС в первичной и вторичной обмотках таковы:

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1}(di_1/dt); e_{\sigma 2} = -L_{\sigma 2}(di_2/dt),$$

где  $L_{\sigma 1}$  и  $L_{\sigma 2}$  - индуктивности рассеяния.

Так как магнитные потоки рассеяния замыкаются главным образом в немагнитной среде (воздух, масло, медь), магнитная проницаемость которой постоянна, то и индуктивности  $L_{\sigma 1}$  и  $L_{\sigma 2}$  можно считать постоянными.

В каждой из обмоток трансформатора индуцируются по две ЭДС: ЭДС от основного потока  $\Phi$  и ЭДС от потока рассеяния ( $\Phi_{\sigma 1}$  в первичной обмотке и  $\Phi_{\sigma 2}$  во вторичной обмотке).

Для первичной цепи трансформатора, включенной в сеть на напряжение  $U_1$ , с учетом падения напряжения в активном сопротивлении первичной обмотки  $r_1$  можно записать уравнение напряжений по второму закону Кирхгофа:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_1 r_1$$

или, преобразовав данное уравнение, получим *уравнение напряжений для первичной цепи трансформатора*:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1$$

ЭДС первичной обмотки  $E_1$ , наведенная основным магнитным потоком  $\Phi$ , представляет собой ЭДС самоиндукции, а поэтому находится в противофазе с подведенным к первичной обмотке напряжением  $U_1$ .

Обычно индуктивное  $j\dot{I}_1 x_1$ , и активное  $\dot{I}_1 r_1$ , падения напряжения невелики, а поэтому с некоторым приближением можно считать, что подведенное к трансформатору напряжение  $U_1$  уравнивается ЭДС  $E_1$  т. е.

$$\dot{U}_1 \approx (\dot{E}_1)$$

Для вторичной цепи трансформатора, замкнутой на нагрузку с сопротивлением  $Z_n$ , уравнение напряжений имеет вид

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} = \dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 Z_n$$

т. е. сумма ЭДС, наведенных во вторичной обмотке ( $\dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2}$ ), уравнивается суммой падений напряжений ( $\dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 Z_n$ ).

где  $r_2$  - активное сопротивление вторичной обмотки.

Падение напряжения на нагрузке  $\dot{I}_2 Z_n$  представляет собой напряжение на выводах вторичной обмотки трансформатора:

$$I_2 Z_n = U_2$$

Приведем уравнение к виду, аналогичному уравнению ЭДС для первичной цепи и получим *уравнение напряжений для вторичной цепи трансформатора*:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 = \dot{I}_2 Z_n$$

Из этого уравнения следует, что напряжение на выходе нагруженного трансформатора отличается от ЭДС вторичной обмотки на величину падения напряжений в этой обмотке.

**Задание 2.** Назначение, устройство и принцип действия однофазного асинхронного двигателя.

По своему устройству однофазный асинхронный двигатель аналогичен трехфазному и состоит из статора, в пазах которого уложена однофазная обмотка, и короткозамкнутого ротора. Особенность работы однофазного асинхронного двигателя заключается в том, что при

включении однофазной обмотки статора  $C1-C2$  в сеть (рисунок 1) МДС статора создает не вращающийся, а пульсирующий магнитный поток с амплитудой  $\Phi_{max}$ , изменяющейся от  $+\Phi_{max}$  до  $-\Phi_{max}$ . При этом ось магнитного потока остается неподвижной в пространстве.

Для объяснения принципа действия однофазного двигателя пульсирующий поток  $\Phi_{max}$  разложим на два вращающихся в противоположные стороны потока  $\Phi_{пр}$  и  $\Phi_{обр}$  (рисунок 2), каждый из которых равен  $0,5\Phi_{max}$  и вращается с частотой (об/мин)

$$n_{пр} = n_{обр} = f_1 60 / p = n_1$$

Условимся считать поток  $\Phi_{пр}$  вращающийся в направлении вращения ротора, прямым, а поток  $\Phi_{обр}$  - обратным. Допустим, что ротор двигателя вращается против часовой стрелки, т. е. в направлении потока  $\Phi_{пр}$ .

Частота вращения ротора  $n_2$  меньше частоты вращения магнитного поля статора  $n_1$ , поэтому скольжение ротора относительно вращающегося потока  $\Phi_{пр}$  будет

$$s_{пр} = (n_1 - n_2) / n_1 = s$$

Обратный поток  $\Phi_{обр}$  вращается противоположно ротору, поэтому частота вращения ротора  $n_2$  относительно  $\Phi_{обр}$  - отрицательная. В этом случае скольжение ротора относительно  $\Phi_{обр}$  определится выражением

$$s_{обр} = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} = \frac{n_1 + n_1 - n_1 + n_2}{n_1} = \frac{2n_1 - n_1 + n_2}{n_1} = 2 - s$$

Прямое поле наводит в обмотке ротора ЭДС  $E_{2пр}$ , а обратное поле - ЭДС  $E_{2обр}$ . Эти ЭДС создают в обмотке ротора токи  $I_{2пр}$  и  $I_{2обр}$ .

Известно, что частота тока в роторе пропорциональна скольжению ( $f_2 = sf_1$ ). Так как  $s_{пр} < s_{обр}$ , то частота тока  $I_{2обр}$  намного больше частоты тока  $I_{2пр}$ .

Индуктивное сопротивление обмотки ротора току  $I_{2обр}$  во много раз больше ее активного сопротивления (потому что  $f_{2обр} \gg f_{2пр}$ ). Ток  $I_{2обр}$  является почти чисто индуктивным, оказывающим сильное размагничивающее действие на обратное поле  $\Phi_{обр}$ . В результате обратное поле и обусловленный им момент  $M_{обр}$  оказываются значительно ослабленными и ротор однофазного двигателя вращается в направлении прямого поля под действием момента

$$M = M_{пр} - M_{обр}$$

где  $M_{пр}$  - электромагнитный момент, обусловленный прямым полем.

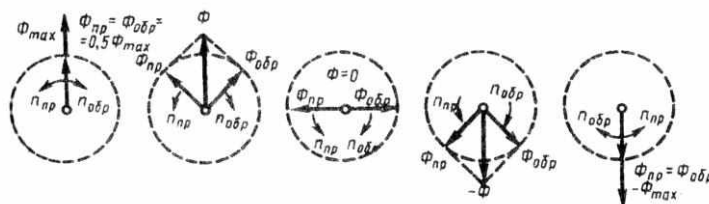


Рисунок 2 - Разложение пульсирующего магнитного потока на два вращающихся

При  $s_{пр} = s_{обр} = 1$  моменты  $M_{пр}$  и  $M_{обр}$  равны, а поэтому пусковой момент однофазного двигателя равен нулю. Следовательно, однофазный асинхронный двигатель не может самостоятельно прийти во вращение при подключении его к сети, а нуждается в первоначальном толчке, так как лишь при  $s \neq 1$  на ротор двигателя действует вращающий момент  $M = M_{пр} - M_{обр}$ .

Однофазный асинхронный двигатель не создает пускового момента. Чтобы этот момент появился, необходимо во время пуска двигателя создать в нем вращающееся магнитное поле. С этой целью на статоре двигателя помимо рабочей обмотки  $A$  применяют еще одну обмотку - пусковую  $B$ . Эти обмотки располагают на статоре обычно так, чтобы их оси были смещены относительно друг друга на 90 эл. град. Кроме того, токи в обмотках статора  $I_A$  и  $I_B$  должны быть сдвинуты по фазе относительно друг друга. Для этого в цепь пусковой обмотки включают фазосмещающий элемент (ФЭ), в качестве которого могут быть применены активное сопротивление, индуктивность или емкость. По достижении частотой вращения значения близкого к номинальному, пусковую обмотку  $B$  отключают с помощью реле. Таким образом, во время пуска двигатель является двухфазным, а во время работы - однофазным.

Для получения вращающегося магнитного поля посредством двух обмоток на статоре, смещенных относительно друг друга на 90 эл. град, необходимо соблюдать следующие условия:

а) МДС рабочей и пусковой обмоток  $\dot{F}_A$  и  $\dot{F}_B$  должны быть и равны и сдвинуты в пространстве относительно друг друга на  $90^\circ$  эл. град;

б) токи в обмотках статора  $\dot{I}_A$  и  $\dot{I}_B$  должны быть сдвинуты по фазе относительно друг друга на  $90^\circ$ .

При строгом соблюдении указанных условий вращающееся поле статора является круговым, что соответствует наибольшему вращающему моменту. При частичном нарушении какого-либо из условий поле статора становится эллиптическим, содержащим обратную составляющую. Обратная составляющая поля создает тормозной момент и ухудшает пусковые свойства двигателя.

### Задание 3. Пуск двигателей постоянного тока.

Ток якоря двигателя определяется формулой

$$I_a = \frac{U - E_a}{\Sigma r}$$

Если принять  $U$  и  $\Sigma r$  неизменными, то ток  $I_a$  зависит от противо-ЭДС  $E_a$ . Наибольшего значения ток  $I_a$  достигает при пуске двигателя в ход. В начальный момент пуска якорь двигателя неподвижен ( $n = 0$ ) и в его обмотке не индуцируется ЭДС ( $E_a = 0$ ). Поэтому при непосредственном подключении двигателя к сети в обмотке его якоря возникает пусковой ток

$$I'_a = U/\Sigma r.$$

Обычно сопротивление  $\Sigma r$  невелико, поэтому значение пускового тока достигает недопустимо больших значений, в  $10 \dots 20$  раз превышающих номинальный ток двигателя.

Такой большой пусковой ток весьма опасен для двигателя. Во-первых, он может вызвать в машине круговой огонь, а во-вторых, при таком токе в двигателе развивается чрезмерно большой пусковой момент, который оказывает ударное действие на вращающиеся части двигателя и может механически их разрушить. И наконец, этот ток вызывает резкое падение напряжения в сети, что неблагоприятно отражается на работе других потребителей, включенных в эту сеть. Поэтому пуск двигателя непосредственным подключением в сеть (безреостатный пуск) обычно применяют для двигателей мощностью не более  $0,7 \dots 1,0$  кВт. В этих двигателях благодаря повышенному сопротивлению обмотки якоря и небольшим вращающимся массам значение пускового тока лишь в  $3 \dots 5$  раз превышает номинальный, что не представляет опасности для двигателя. Что же касается двигателей большей мощности, то при их пуске для ограничения пускового тока используют *пусковые реостаты* (ПР), включаемые последовательно в цепь якоря (реостатный пуск).

Перед пуском двигателя необходимо рычаг  $P$  реостата поставить на холостой контакт  $O$ . Затем включают рубильник, переводят рычаг на первый промежуточный контакт  $I$  и цепь якоря двигателя оказывается подключенной к сети через наибольшее сопротивление реостата  $r_{пр} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$ .

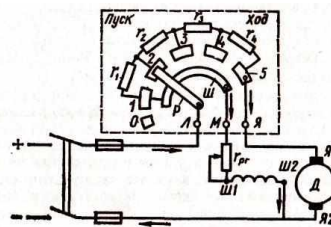


Схема включения пускового реостата

Одновременно через рычаг  $P$  и шину  $Ш$  к сети подключается обмотка возбуждения, ток в которой в течение всего периода пуска не зависит от положения рычага  $P$ , так как сопротивление шины по сравнению с сопротивлением обмотки возбуждения пренебрежимо мало.

Пусковой ток якоря при полном сопротивлении пускового реостата

$$I_n = \frac{U - E_a}{\Sigma r + r_{пр}}$$

С появлением тока в цепи якоря  $I_{п.макс}$  возникает пусковой момент  $M_{п.макс}$ , под действием которого начинается вращение якоря. По мере нарастания частоты вращения увеличивается противо-ЭДС  $E_a = c_e \Phi n$ , что ведет к уменьшению пускового тока и пускового момента.

По мере разгона якоря двигателя рычаг пускового реостата переключают в положения 2, 3 и т. д. В положении 5 рычага реостата пуск двигателя заканчивается ( $r_{пр} = 0$ ). Сопротивление пускового реостата выбирают обычно таким, чтобы наибольший пусковой ток превышал номинальный не более чем в 2...3 раза.

Так как вращающий момент двигателя  $M$  прямо пропорционален потоку  $\Phi$ , то для облегчения пуска двигателя параллельного и смешанного возбуждения сопротивление реостата в цепи возбуждения  $r_{пр}$  следует полностью вывести ( $r_{пр} = 0$ ). Поток возбуждения  $\Phi$  в этом случае получает наибольшее значение и двигатель развивает необходимый вращающий момент при меньшем токе якоря.

Для пуска двигателей большей мощности применять пусковые реостаты нецелесообразно, так как это вызвало бы значительные потери энергии. Кроме того, пусковые реостаты были бы громоздкими. Поэтому в двигателях большой мощности применяют безреостатный пуск двигателя путем понижения напряжения. Примерами этого являются пуск тяговых двигателей электровоза переключением их с последовательного соединения при пуске на параллельное при нормальной работе или пуск двигателя в схеме «генератор - двигатель».

**Задание 4. Решение:**

3) Определим число витков в первичной обмотке

$$w_1 = k \cdot w_2; w_1 = 47 \cdot 715 = 33605 \text{ витков}$$

4) Определим магнитный поток

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4.44 f w_1}; \Phi_m = \frac{25000}{4.44 \cdot 50 \cdot 33605} = 0,0034 \text{ Вб}$$

2) Определим сечение магнитопровода

$$Q = \frac{\Phi_m}{B} = \frac{0,0034}{1,5} = 0,0023 \text{ м}^2$$

### Экзаменационный билет № 3

**Задание 1.** Назначение, устройство и принцип действия трехфазных трансформаторов.

Трансформирование трехфазной системы напряжений можно осуществить тремя однофазными трансформаторами, соединенными в трансформаторную группу (рис. 1, а).

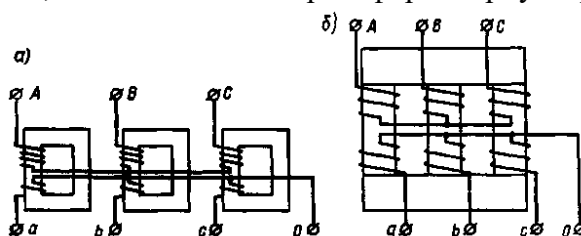


Рисунок 1 - Трансформаторная группа (а) и трехфазный трансформатор (б)

Однако относительная громоздкость, большой вес и повышенная стоимость - недостаток трансформаторной группы, поэтому она применяется только в установках большой мощности с целью уменьшения веса и габаритов единицы оборудования, что важно при монтаже и транспортировке трансформаторов.

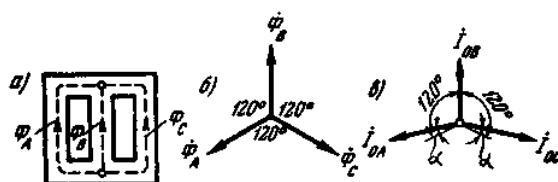


Рисунок 2 - Трехстержневой магнитопровод и векторные диаграммы

В установках мощностью примерно до 60 000 кВ-А обычно применяют трехфазные трансформаторы (рис.1, б), у которых обмотки расположены на трех стержнях, объединенных в общий магнитопровод двумя ярмами (см. рис. 2). Но полученный таким образом магнитопровод является несимметричным: магнитное сопротивление потоку средней фазы  $\Phi_B$  меньше магнитного сопротивления потокам крайних фаз  $\Phi_A$  и  $\Phi_C$  (рис. 2, а).

Так как к первичным обмоткам трехфазного трансформатора подводится симметричная система напряжений  $U_A, U_B$  и  $U_C$ , то в магнитопроводе трансформатора возникают магнитные потоки  $\Phi_A, \Phi_B$  и  $\Phi_C$ , образующие также симметричную систему (рис. 2, б). Однако вследствие магнитной несимметрии магнитопровода намагничивающие токи отдельных фазовых обмоток не равны: намагничивающие токи обмоток крайних фаз ( $I_{0A}$  и  $I_{0C}$ ) больше намагничивающего тока обмотки средней фазы  $I_{0B}$ . Кроме того, токи  $I_{0A}$  и  $I_{0C}$  оказываются сдвинутыми по фазе относительно соответствующих потоков  $\Phi_A$  и  $\Phi_C$  на угол  $\alpha$ . Таким образом, при симметричной системе трехфазного напряжения, подведенного к трансформатору, токи х.х. образуют несимметричную систему (рис. 2, в).

Для уменьшения магнитной несимметрии трехстержневого магнитопровода, т. е. уменьшения магнитного сопротивления потокам крайних фаз, сечение ярм делают на 10...15% больше сечения стержней, что уменьшает их магнитное сопротивление. Несимметрия токов х.х. трехстержневого трансформатора практически не отражается на работе трансформатора, так как даже при небольшой нагрузке различие в значениях токов  $I_A, I_B$  и  $I_C$  становится незаметным.

Таким образом, при симметричном питающем напряжении и равномерной трехфазной нагрузке все фазы трехфазного трансформатора, выполненного на трехстержневом магнитопроводе, практически находятся в одинаковых условиях. Поэтому рассмотренные выше уравнения напряжений, МДС и токов, а также схема замещения и векторные диаграммы могут быть использованы для исследования работы каждой фазы трехфазного трансформатора.

Обмотки трехфазных трансформаторов принято соединять по следующим схемам: звезда; звезда с нулевым выводом; треугольник; зигзаг с нулевым выводом.

Схемы соединения обмоток трансформатора обозначают дробью, в числителе которой указана схема соединения обмоток ВН, а в знаменателе - обмоток НН. Например,  $Y/\Delta$  означает, что обмотки ВН соединены в звезду, а обмотки НН - в треугольник.

Соединение в зигзаг применяют только в трансформаторах специального назначения, например в трансформаторах для выпрямителей

Выводы обмоток трансформаторов принято обозначать следующим образом: обмотки ВН - начало обмоток А, В, С, соответствующие концы X, Y, Z; обмотки НН - начала обмоток а, в, с, соответствующие концы x, y, z.

При соединении обмоток звездой линейное напряжение больше фазного ( $U_L = \sqrt{3} U_\Phi$ ), а при соединении обмоток треугольником линейное напряжение равно фазному ( $U_\Phi = U_L$ ).

Отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора определяется следующим образом:

Схема соединения обмоток	Y	Y/	$\Delta Y$	$\Delta$	$\Delta$	Y/ $\Delta$
	Отношение линейных напряжений	$w_2$	$w_1/$	$w_1/($	$w_2$	$w_1/$

Таким образом, отношение линейных напряжений в трехфазном трансформаторе определяется не только отношением чисел витков фазных обмоток, но и схемой их соединений.

**Задание 2.** Схема и характеристики генератора постоянного тока смешанного возбуждения.

Более широкое применение находят генераторы постоянного тока, у которых магнитный поток возбуждения создается двумя обмотками: шунтовой и серийной. Это генераторы смешанного возбуждения, или компаундные генераторы (рисунок 1), которые могут иметь согласно или встречно включенные обмотки возбуждения.

У генераторов с согласным включением обмоток напряжение почти не изменяется при изменении нагрузки. Это объясняется тем, что магнитный поток серийной обмотки создается током нагрузки и при увеличении возрастает, компенсируя влияние реакции якоря и увеличение падения напряжения внутри машины. Генераторы с согласным включением обмоток применяют



в тех случаях, когда требуется высокая стабильность напряжения питания при изменении нагрузки в широких пределах.

Генераторы со встречным включением обмоток имеют крутопадающую внешнюю характеристику. При увеличении тока нагрузки встречный поток серийной обмотки размагничивает машину, и напряжение генератора резко снижается. Такие машины используют в качестве сварочных генераторов, где требуется относительное постоянство сварочного тока при изменении напряжения в широких пределах вплоть до значений близких к нулю (когда электрод касается свариваемых деталей)

Внешние характеристики генератора смешанного возбуждения изображены на рисунке 2.

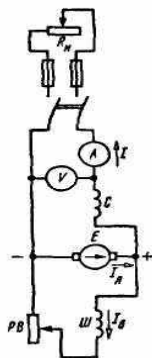


Рисунок 1 – Схема генератора смешанного возбуждения

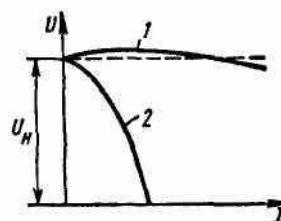


Рисунок 3 - Внешние характеристики генератора смешанного возбуждения при согласном (прямая 1) и встречном (кривая 2) включении обмоток возбуждения

### Задание 3. Классификация высоковольтных выключателей.

Высоковольтный выключатель - коммутационный аппарат, предназначенный для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме, в нормальных или аварийных режимах, при ручном или автоматическом управлении.

Высоковольтный выключатель состоит из: контактной системы с дугогасительным устройством, токоведущих частей, корпуса, изоляционной конструкции и приводного механизма (например электромагнитный привод, ручной привод).

По способу гашения дуги:

- Элегазовые выключатели (баковые и колонковые);
- Вакуумные выключатели;
- Масляные выключатели (баковые и маломасляные);
- Воздушные выключатели.

### Задание 4. Решение:

1) Определим магнитный поток

$$\Phi_m = S_a \cdot B_m = 6,5 \cdot 0,93 = 0,06 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$$

2) Определим число витков первичной обмотки

$$w_1 = \frac{U_1}{4,44 f \Phi_b}; w_1 = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,06 \cdot 10^{-2}} = 1652 \text{ витка}$$

3) Определим коэффициент трансформации

$$k = w_1 / w_2; k = 1652 / 56 = 29,5$$

### Экзаменационный билет № 4

**Задание 1.** Пуск двигателей с фазным ротором и с короткозамкнутым ротором.

Общим является факт протекания большого пускового тока, что опасно в отношении перегрева обмоток статора и ротора. При пуске также снижается напряжение сети, отрицательно влияющее на работу других потребителей. Существует несколько способов пуска асинхронных двигателей.

Для двигателей с фазным ротором применяется реостатный пуск, для двигателей с короткозамкнутым ротором - прямой пуск от сети, пуск от пониженного напряжения - при

помощи реактора или автотрансформатора, включенного в цепь статора, пуск с плавным подъемом частоты (и напряжения).

Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором с помощью реостата в цепи ротора аналогичен реостатному пуску двигателя постоянного тока. При этом уменьшается пусковой ток и увеличивается пусковой момент (до определенного предела увеличения сопротивления в цепи ротора). Физически это объясняется тем, что хотя при введении активного сопротивления ток ротора уменьшается, активная составляющая тока и, следовательно, момент в соответствии с формулой

$$M = C\Phi I_2 \cos \varphi_2$$

увеличивается. Для уменьшения числа ступеней пускового реостата в цепь ротора асинхронного двигателя включают дроссель, шунтированный активным сопротивлением (рис. 1, а).

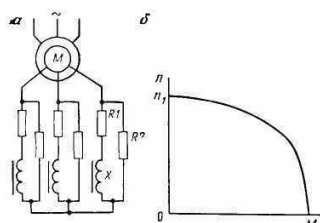


Рисунок 1 – Пуск АД с активно-индуктивным контуром в цепи ротора

Как известно, частота тока в роторе асинхронного двигателя определяется из соотношения  $f_2 = f_1 s$ . В начальный момент пуска ( $s = 1$ ), когда частота тока в роторе максимальна, индуктивное сопротивление дросселя  $X = 2\pi f_2 L$  велико. При этом большая часть тока ротора проходит через активное сопротивление. По мере разгона электропривода уменьшаются частота тока в роторе и индуктивное сопротивление дросселя. При малых скольжениях индуктивное сопротивление дросселя становится настолько малым, что большая часть тока ротора проходит через дроссель. При правильном выборе сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $X$  можно получить механическую характеристику двигателя, показанную на рис. 1, б. Наличие постоянно включенного контура из сопротивлений в цепи ротора увеличивает скольжение двигателя в установившемся режиме на 7-10%. Такую схему используют в электроприводе буровой лебедки и ротора отечественных буровых установок.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проще по устройству и обслуживанию, а также дешевле и надежнее в работе, чем двигатели с фазным ротором. Поэтому везде, где это возможно, применяют короткозамкнутые двигатели.

Прямой пуск, при котором обмотка статора двигателя подключается на номинальное напряжение сети, широко применяется в нефтяной промышленности. Современные асинхронные короткозамкнутые двигатели по возникающим при пуске электродинамическим усилиям и условиям нагрева допускают прямой пуск. Поэтому такой способ пуска всегда возможен, если сеть достаточно мощная и пусковые токи не вызывают недопустимо больших потерь напряжения в сети (не более 10%).

Пусковые свойства асинхронных короткозамкнутых двигателей можно характеризовать коэффициентом качества пуска, который представляет собой отношение кратности пускового момента к кратности пускового тока, т. е.

$$\gamma = (M_p/M_n) / (I_p / I_n)$$

Для двигателей обычного исполнения  $\gamma = 0,15 \dots 0,25$ . Для увеличения  $\gamma$  асинхронные короткозамкнутые двигатели изготавливают с глубоким и узким пазом или с двойной беличьей клеткой. Для глубокопазных двигателей  $\gamma = 0,27 \dots 0,33$ , а для двигателей с двойной беличьей клеткой  $\gamma = 0,36 \dots 0,5$ . Однако к. п. д. и коэффициент мощности этих двигателей ниже двигателей обычного исполнения.

При прямом пуске асинхронного короткозамкнутого двигателя под нагрузкой его мощность должна составлять (20...30) % мощности трансформатора, если от него питается только силовая нагрузка и (5...10)%, если от трансформатора питается осветительная нагрузка.

Если прямой пуск от сети короткозамкнутого двигателя невозможен, то применяют один из способов пуска при пониженном напряжении (через автотрансформатор или реактор). Сна-

чала двигатель разгоняется при пониженном напряжении, а затем после достижения установившейся частоты вращения подается полное напряжение.

Пуск двигателя плавным подъемом частоты и напряжения применяется в том случае, когда асинхронный двигатель питается от управляемого источника переменного тока (тиристорного преобразователя частоты). При таком пуске по мере разгона двигателя увеличивают частоту тока, а напряжение увеличивают таким образом, чтобы пусковой ток оставался все время неизменным.

**Задание 2.** Схема и характеристики генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

Генератор последовательного возбуждения, или сериесный генератор, назван так потому, что обмотка возбуждения и обмотка якоря соединены последовательно (рисунок 3, а) Для этого генератора

$$I = I_{\text{я}} = I_{\text{в}}$$

Характеристика холостого хода, отображающая магнитные свойства системы возбуждения, может быть снята только при независимом возбуждении

Внешняя характеристика изображена на рисунок 1, б. Пока магнитная система не насыщена, с увеличением тока нагрузки возрастают магнитный поток и ЭДС генератора. Однако по мере насыщения магнитопровода рост ЭДС замедляется, а размагничивающее действие реакции якоря проявляется все сильнее. Поэтому напряжение, достигнув максимального значения, начинает снижаться. Генераторы последовательного возбуждения используют сравнительно редко.

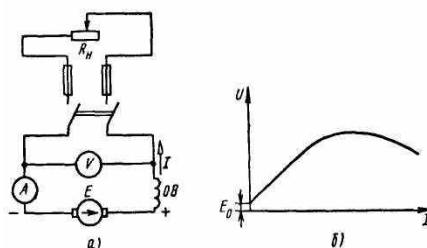


Рисунок 1– Генератор последовательного возбуждения: а – схема; б – внешняя характеристика

**Задание 3.** Назначение, устройство, принцип работы и основные элементы конструкции отделителей.

Отделитель представляет собой разъединитель, который быстро отключает обесточенную цепь после подачи команды на его привод. Отделитель внешне не отличается от разъединителя, но у него для отключения имеется пружинный привод. Включение отделителя производится вручную. Отделители, так же как разъединители, могут иметь заземляющие ножи с одной или двух сторон. Недостатком существующих конструкций ОД является довольно большое время отключения (0,4-0,5 с). В качестве примера применения короткозамыкателей и отделителей на рис. приведена схема питания от одной линии двух трансформаторных групп Т1 и Т2. В схему кроме быстродействующих короткозамыкателей QK1 и QK2, введены отделители Q1 и Q2, которые при нормальном режиме работы замкнуты. Допустим, вследствие ухудшения изоляции трансформатора Т1 внутри него возникают электрические разряды, которые приводят к разложению масла и выделению газа. Газовые пузырьки, поднимаясь вверх, приводят к срабатыванию газового реле. По сигналу этого реле включается короткозамыкатель и в цепи возникает искусственное КЗ. Под действием тока КЗ срабатывает выключатель защиты QF1 и обе группы Т1 и Т2 обесточиваются.

С помощью релейной защиты трансформатора Т1 отключается также выключатель QF2, после чего с некоторой выдержкой отключается отделитель Q1. Затем, так как режим искусственного КЗ оказался отключенным, снова включается выключатель QF1. Если до аварии выключатель QF4 был отключен, то после включения выключателя QF1 он может быть включен. При этом будет восстановлено питание потребителей на шинах 10 кВ первой трансформаторной группы.

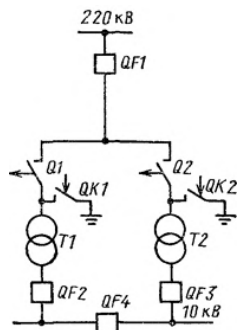


Схема коммутации с отделителями и короткозамыкателями

Таким образом, в этой схеме удастся не ставить выключатели на стороне 220 кВ трансформаторов Т1 и Т2. Однако для надежной работы необходима четкая последовательность в работе короткозамыкателей, выключателей и отделителей. Иначе возможны такие тяжелые аварийные случаи, как отключение тока КЗ отделителями и др.

**Задание 4. Решение:**

1) Определим коэффициент трансформации

$$k = U_1/U_2 = 220/25 = 8,8$$

2) Определим число витков

$$w_1 = k w_2 = 8,8 \cdot 37 = 326 \text{ витов}$$

3) Определим номинальные токи в обмотках

$$I_{\text{ном1}} = S/U_1 = 250000/220 = 113,6 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ном2}} = S/U_2 = 250000/25 = 10000 \text{ А.}$$

#### Экзаменационный билет № 5

**Задание 1. Уравнения ЭДС И МДС трансформатора.**

Предположим, что трансформатор работает в режиме холостого хода (рис. 1, а), т. е. к зажимам его первичной обмотки подведено напряжение  $U_1$ , а вторичная обмотка разомкнута ( $U_2 = 0$ ). Ток  $I_0$  в первичной обмотке при этих условиях называют *током холостого хода*.

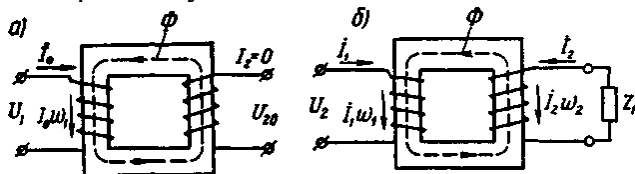


Рисунок 1 - Режимы холостого хода (а) и нагрузки (б) в однофазном трансформаторе

Магнитодвижущая сила (МДС)  $I_0 w_1$ , созданная этим током, наводит в магнитопроводе трансформатора основной магнитный поток, максимальное значение которого

$$\Phi_{\text{max}} = \sqrt{2} I_0 w_1 / R_m$$

где  $R_m$  - магнитное сопротивление магнитопровода.

При замыкании вторичной обмотки на нагрузку  $Z_n$  (рис. 1, б) в ней возникает ток  $I_2$ . При этом ток в первичной обмотке увеличивается до значения  $I_1$ .

Теперь поток  $\Phi_{\text{max}}$  создается действиями МДС  $I_1 w_1$  и  $I_2 w_2$

Этот поток можно определить из формулы трансформаторной ЭДС:

$$\Phi_{\text{max}} = \frac{E_1}{4.44 w_1 f}$$

или, принимая во внимание, что  $\dot{U}_1 \approx (-\dot{E}_1)$ , получим

$$\Phi_{\text{max}} = \frac{U_1}{4.44 w_1 f}$$

Из этого следует, что значение основного магнитного потока  $\Phi$  практически не зависит от нагрузки трансформатора, так как напряжение  $U_1$  неизменно. Однако следует иметь в виду, что это положение является приближенным и относится к случаям нагрузки, не превышающим номинальную.

Принятое положение  $\Phi = \text{const}$  позволяет и получить *уравнение МДС трансформатора*:

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2$$

Так как вторичная обмотка трансформатора замкнута на сопротивление нагрузки  $Z_H = r_H \pm jx_H$  и обладает активным сопротивлением  $r_2$ , фазовый сдвиг тока  $I_2$  от ЭДС  $E_2$  отличается от  $90^\circ$  и с основным магнитным потоком  $\Phi$  взаимодействует не вся МДС  $\dot{I}_2 w_2$ , а лишь ее реактивная составляющая.

При *активно-индуктивной нагрузке*, когда  $Z_H = r_H + jx_H$  и ток нагрузки  $I_2$  *отстает* по фазе от ЭДС вторичной обмотки  $E_2$  на угол  $\psi_2$ , МДС  $\dot{I}_2 w_2$  своей реактивной (индуктивной) составляющей  $\dot{I}_{2p} w_2$  оказывает на магнитопровод трансформатора размагничивающее действие:

$$\dot{I}_{2p} w_2 = \dot{I}_2 w_2 \sin \psi_2$$

где  $\dot{I}_{2p} = \dot{I}_2 \sin \psi_2$  - реактивная составляющая тока нагрузки.

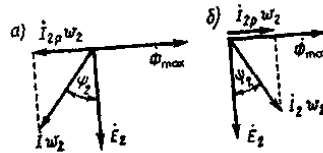


Рисунок 2 - Векторные диаграммы МДС трансформатора при активно-индуктивной (а) и активно-емкостной (б) нагрузках

При *активно-емкостной нагрузке* трансформатора, когда  $Z_H = r_H - jx_H$  и ток нагрузки  $I_2$  *опережает* по фазе ЭДС  $E_2$  на угол  $\psi_2$ , реактивная (емкостная) составляющая МДС вторичной обмотки  $\dot{I}_{2p} w_2$  совпадает по фазе с основным магнитным потоком  $\Phi_{\text{max}}$  и *подмагничивает* магнитопровод трансформатора (рис. 2, б). В этом случае составляющая первичной МДС ( $-\dot{I}_2 w_2$ ) компенсирует действие вторичной МДС  $\dot{I}_2 w_2$ .

Разделив уравнение МДС на число витков  $w_1$ , получим

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 w_2 / w_1 \text{ или } \dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2$$

где  $\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 w_2 / w_1$  - ток нагрузки (вторичный ток), приведенный к числу витков первичной обмотки.

Другими словами, это такой ток, который в обмотке с числом витков  $w_1$  создает такую же МДС, что и ток  $I_2$  во вторичной обмотке  $w_2$ . Преобразовав выражение и получим *уравнение токов трансформатора*:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2)$$

Основной магнитный поток  $\Phi$  является переменным, а поэтому магнитопровод трансформатора подвержен систематическому перемагничиванию. Вследствие этого в магнитопроводе трансформатора имеют место магнитные потери от гистерезиса и вихревых токов, наводимых переменным магнитным потоком в пластинах электротехнической стали. Мощность магнитных потерь эквивалентна активной составляющей тока х.х. Таким образом, ток х.х. имеет две составляющие: реактивную  $I_{0p}$ , представляющую собой намагничивающий ток, и активную  $I_{0a}$ , обусловленную магнитными потерями. Обычно активная составляющая тока х.х. невелика и не оказывает заметного влияния на ток х.х.

Угол  $\delta$ , на который вектор основного магнитного потока  $\Phi_{\text{max}}$  отстает по фазе от тока  $\dot{I}_0$ , называют *углом магнитных потерь*.

Сила тока х.х. в трансформаторах большой и средней мощности соответственно составляет 2...10% от номинального первичного тока. По этому при нагрузке, близкой к номинальной, пренебрегая током  $I_0$  получим

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

Т.е. токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны числам витков этих обмоток: ток больше в обмотке с меньшим числом витков и меньше в обмотке с большим числом витков. Поэтому обмотки НН выполняют проводом большего сечения, чем обмотки ВН, имеющие большее число витков.

## Задание 2. Способы возбуждения синхронных машин.

Синхронные двигатели конструктивно почти не отличаются от синхронных генераторов. Они также состоят из статора с обмоткой и ротора. Поэтому независимо от режима работы любая синхронная машина нуждается в процессе возбуждения - наведения в ней магнитного поля.

Основным способом возбуждения синхронных машин является *электромагнитное* возбуждение, сущность которого состоит в том, что на полюсах ротора располагают обмотку возбуждения. При прохождении по этой обмотке постоянного тока возникает МДС возбуждения, которая наводит в магнитной системе машины магнитное поле.

Электромагнитное возбуждение может быть *контактным* и *бесконтактным*. Для питания обмотки возбуждения применялись специальные генераторы постоянного тока независимого возбуждения, называемые возбудителями В, обмотка возбуждения которого (ОВ) получала питание постоянного тока от другого генератора (параллельного возбуждения), называемого подвозбудителем (ПВ). Ротор синхронной машины и якоря возбудителя и подвозбудителя располагаются на общем валу и вращаются одновременно. При этом ток в обмотку возбуждения синхронной машины поступает через контактные кольца и щетки. Для регулирования тока возбуждения применяют регулировочные реостаты, включаемые в цепи возбуждения возбудителя ( $r_1$ ) и подвозбудителя ( $r_2$ ).

*Бесконтактная система электромагнитного возбуждения*, при которой синхронный генератор не имеет контактных колец на роторе.

В качестве возбудителя и в этом случае применяют генератор переменного тока, у которого обмотка, в которой наводится ЭДС (обмотка якоря), расположена на роторе, а обмотка возбуждения расположена на статоре. В результате обмотка якоря возбудителя и обмотка возбуждения синхронной машины оказываются вращающимися и их электрическое соединение осуществляется непосредственно, без контактных колец и щеток. Но так как возбудитель является генератором переменного тока, а обмотку возбуждения необходимо питать постоянным током, то на выходе обмотки якоря возбудителя включают полупроводниковый преобразователь, закрепленный на валу синхронной машины и вращающийся вместе с обмоткой возбуждения синхронной машины и обмоткой якоря возбудителя. Питание постоянным током обмотки возбуждения возбудителя осуществляется от подвозбудителя (ПВ) - генератора постоянного тока.

В синхронных генераторах, в том числе гидрогенераторах, получил распространение принцип *самовозбуждения*, когда энергия переменного тока, необходимая для возбуждения, отбирается от обмотки статора синхронного генератора и через понижающий трансформатор и выпрямительный полупроводниковый преобразователь (ПП) преобразуется в энергию постоянного тока. Принцип самовозбуждения основан на том, что первоначальное возбуждение генератора происходит за счет остаточного магнетизма магнитопровода машины.

В современных синхронных двигателях для возбуждения применяют *тиристорные возбудительные устройства*, включаемые в сеть переменного тока и осуществляющие автоматическое управление током возбуждения во всевозможных режимах работы двигателя, в том числе и переходных. Такой способ возбуждения является наиболее надежным и экономичным, так как КПД тиристорных возбудительных устройств выше, чем у генераторов постоянного тока. Промышленно выпускаются тиристорные возбудительные устройства на различные напряжения возбуждения с допустимым значением постоянного тока 320 А.

В синхронных машинах малой мощности находит применение принцип *возбуждения постоянными магнитами*, когда на роторе машины располагаются постоянные магниты. Такой способ возбуждения дает возможность избавить машину от обмотки возбуждения.

## Задание 3. Регулирование частоты вращения двигателей параллельного возбуждения.

Способы регулирования частоты вращения оцениваются следующими показателями:

- плавностью регулирования;
- диапазоном регулирования, определяемым отношением наибольшей частоты вращения к наименьшей;
- экономичностью регулирования, определяемой стоимостью регулировочной аппаратуры и потерями энергии в ней.

$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi} = n_0 - \Delta n$$

Из формулы видно, что регулировать частоту вращения двигателя можно тремя способами:

- изменением сопротивления цепи якоря  $R_a$ ;
- изменением величины магнитного потока  $\Phi$ ;
- изменением напряжения  $U$  подаваемого на двигатель.

#### Задание 4. Решение

1) Определим первичный и вторичный токи обмотки

$$I_1 = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{1ном}\eta\cos\varphi} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 0,85 \cdot 0,85} = 4A$$

$$I_2 = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{2ном}\eta\cos\varphi} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,85} = 181,2A$$

#### Экзаменационный билет № 6

**Задание 1.** Опытное определение параметров схемы замещения трансформаторов.

Для определения параметров схемы замещения трансформатора проводят его испытания в режиме холостого хода и опытного короткого замыкания.

##### 1) Опыт холостого хода

Схема опыта холостого хода приведена на рис.1 . Первичную обмотку подключают на номинальное напряжение и измеряют ток холостого хода  $I_0$  , мощность  $P_0$  , напряжение на разомкнутой вторичной обмотке  $U_{20}$  .

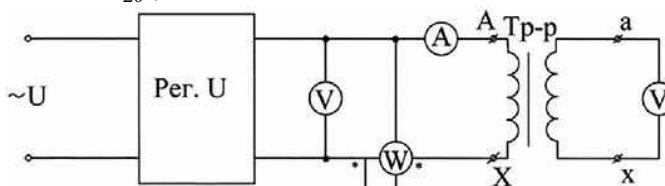


Рисунок 1 - Схема опыта холостого хода

Мощность  $P_0$ , потребляемая из сети, расходуется на потери в меди  $\Delta P_{m1} = I_0^2 r_1$  и потери в стали  $\Delta P_{ст} = I_0^2 r_m$  при этом, поскольку  $r_m \gg r_1$ , потерями в первичной обмотке  $\Delta P_{m1}$  пренебрегают и считают, что вся потребляемая из сети мощность расходуется на потери в стали, т.е.:

$$P_0 \approx \Delta P_{cm} = I_0^2 r_m \text{ откуда: } r_m = \frac{P_0}{I_0^2}$$

Исходя из схемы замещения и пренебрегая величиной  $z_1$  по сравнению с  $z_m$  можно определить величину  $z_m$  из соотношения:

$$z_m = \sqrt{r_m^2 + x_m^2} = \frac{U_{10}}{I_0} \text{ откуда: } x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2}$$

Коэффициент мощности при холостом ходе определяется из соотношения:

$$\cos\varphi = \frac{P_0}{U_{10} I_0}$$

Коэффициент трансформации равен:

$$k = \frac{U_{10}}{U_{20}}$$

##### 2) Опыт короткого замыкания

Схема опыта короткого замыкания приведена на рис. 2.

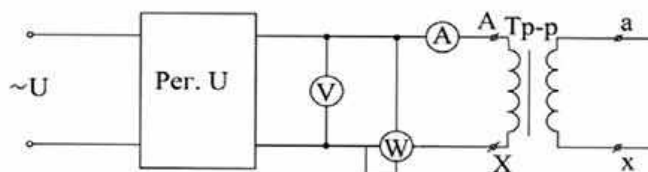


Рисунок 2 - Схема опыта короткого замыкания

В этом опыте вторичная обмотка замыкается накоротко, а на первичной обмотке с помощью регулятора устанавливают такое напряжение  $U_{1к}$ , при котором ток в первичной обмотке равен номинальному  $I_{1к} = I_{1н}$ . Величина  $U_{1к}$  имеет весьма важное эксплуатационное значение и всегда указывается на щитке трансформатора. Обычно она указывается в процентах от номинального напряжения и для однофазных трансформаторов составляет 3%...5%.

Поскольку в рассматриваемом режиме  $U_2=0$ , то трансформатор не отдает потребителю полезной мощности и вся мощность  $P_{1к}$ , потребляемая из сети, расходуется на потери. Т.к. потери в стали  $\Delta P_{ст}$  пропорциональны квадрату магнитной индукции  $\Delta P_{ст} \approx B^2 \approx E^2 \approx U_1^2$ , то, ввиду малости напряжения  $U_{1к}$ , этими потерями пренебрегают и считают, что вся потребляемая мощность расходуется на потери в обмотках, т. е.:

$$P_{1к} = \Delta P_{м1} + \Delta P_{м2} = I_{1к}^2 r_k$$

откуда получаем:  $r_k = \frac{P_{1к}}{I_{1к}^2}$

Полное сопротивление короткого замыкания равно:

$$z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2} = \frac{U_{1к}}{I_{1к}}; \text{ поэтому } x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$$

Принимая далее, что:  $r_1 \approx r_2 = r_k / 2$ ;  $x_1 \approx x_2 = x_k / 2$

получаем все параметры Т-образной схемы замещения трансформатора.

## Задание 2. Типы синхронных машин и их устройство.

Синхронная машина состоит из неподвижной части - статора и вращающейся части - ротора. Статоры синхронных машин в принципе не отличаются от статоров асинхронных двигателей, т.е. состоят из корпуса, сердечника и обмотки).

Конструктивное исполнение статора синхронной машины может быть различным в зависимости от назначения и габаритов машины.

Роторы синхронных машин могут иметь две принципиально различающиеся конструкции: *явнополюсную* и *неявнополюсную*.

В энергетических установках по производству электроэнергии переменного тока в качестве первичных (приводных) двигателей и синхронных генераторов применяют в основном три вида двигателей: паровые турбины, гидравлические турбины либо двигателя внутреннего сгорания (дизели). Применение любого из двигателей принципиально влияет на конструкцию синхронного генератора.

Если приводным двигателем является *гидравлическая турбина*, то синхронный генератор называют гидрогенератором. Гидравлическая турбина обычно развивает небольшую частоту вращения (60-500 об/мин), поэтому для получения переменного тока промышленной частоты (50 Гц) в гидрогенераторе применяют ротор с большим числом полюсов. Роторы гидрогенераторов имеют *явнополюсную конструкцию*, т. е. с явно выраженными полюсами, при которой каждый полюс выполняют в виде отдельного узла, состоящего из сердечника 1, полюсного наконечника 2 и полюсной катушки 3 (рис. 19.3, а). Все полюсы ротора закреплены на ободе 4, являющемся также и ярмом магнитной системы машины, в котором замыкаются потоки полюсов.

*Паровая турбина* работает при большой частоте вращения, поэтому приводимый ею во вращение генератор, называемый турбогенератором, является быстроходной синхронной машиной. Роторы этих генераторов выполняют либо двухполюсными ( $n_1 = 3000$  об/мин), либо четырехполюсными ( $n_1 = 1500$  об/мин).

В процессе работы турбогенератора на его ротор действуют значительные центробежные силы. Поэтому по условиям механической прочности в турбогенераторах применяют *неявнополюсный ротор*, имеющий вид удлиненного стального цилиндра с продольными пазами для обмотки возбуждения. Сердечник неявнополюсного ротора изготовляют в виде цельной стальной поковки вместе с хвостовиками (концами вала) или же делают сборным. Обмотка возбуждения неявнополюсного ротора занимает лишь  $2/3$  его поверхности (по периметру). Оставшаяся  $1/3$  поверхности образует полюсы. Для защиты лобовых частей обмотки ротора от разрушения действием центробежных сил ротор с двух сторон прикрывают стальными бандажными кольцами (капшами), изготовляемыми обычно из немагнитной стали.



Большую группу синхронных машин составляют *синхронным двигателями*, которые обычно изготавливаются мощностью до нескольких тысяч киловатт и предназначены для привода мощных вентиляторов, мельниц, насосов и других устройств, не требующих регулирования частоты вращения.

### Задание 3. Режимы работы машины постоянного тока.

В двигателях параллельного возбуждения при неизменном токе в обмотке возбуждения ( $I_B = \text{const}$ ) магнитный поток изменяется при нагрузке весьма незначительно, поэтому с некоторым приближением можно принять  $\Phi = \text{const}$ . В этом случае электромагнитный момент пропорционален току в цепи якоря и механическая характеристика  $n = f(M)$  может быть представлена зависимостью  $n = f(I_a)$ . Если эту характеристику продолжить в обе стороны за пределы осей координат (прямая 1), то можно показать, что электрическая машина в зависимости от величины и знака внешнего момента, действующего на ее вал со стороны связанного с ним механизма, может работать в трех режимах: **двигательном, тормозном и генераторном**.

При работе двигателя без нагрузки ток в цепи якоря  $I_{a0}$  небольшой. При этом частота вращения  $n = n_0$  (точка А). Затем с появлением на валу двигателя нагрузочного момента, противодействующего вращающему, ток в цепи якоря возрастает, а частота вращения уменьшается. Если увеличить противодействующий момент до значения, при котором якорь двигателя остановится (точка В), то ЭДС  $E_a = 0$  и ток двигателя достигает значения

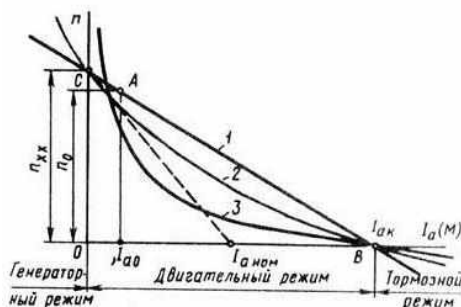
$$I_{ак} = U / \Sigma r$$

Если двигатель применяют для привода механизма, нагрузочный момент которого может быть больше вращающегося (например, привод барабана, на который наматывается трос с грузом), то при последующем увеличении нагрузочного момента этого механизма якорь машины вновь начнет вращаться, но теперь уже в другую сторону. Теперь момент, действующий на вал электрической машины со стороны нагрузочного механизма, будет вращающим, а электромагнитный момент машины - тормозящим, т. е. электрическая машина перейдет в **тормозной режим**. При работе машины в этом режиме ЭДС якоря действует согласованно с напряжением, т. е.

$$I_a = (U + E_a) / \Sigma r$$

При использовании машины в тормозном режиме необходимо принять меры для ограничения тока якоря. С этой целью в цепь якоря включают добавочное сопротивление, величина которого обеспечивает получение искусственной характеристики двигателя, пересекающейся с осью абсцисс при токе якоря  $I_{a.ном} < I_{ак}$  (штриховая прямая).

Если при работе двигателя в режиме х.х. к его валу приложить момент, направленный в сторону вращения якоря, то частота вращения, а следовательно, и ЭДС  $E_a$  начнут возрастать. Когда ЭДС  $E_a = U$ , машина не будет потреблять тока из сети (точка С) и частота вращения якоря достигает значения, называемого **пограничной частотой вращения  $n_{хх}$**



Режимы работы машины постоянного тока:

- 1 - с параллельным (независимым) возбуждением; 2 - со смешанным возбуждением;
- 3 - с последовательным возбуждением

При дальнейшем увеличении внешнего момента на валу машины ЭДС  $E_a$  станет больше напряжения, а в цепи якоря опять возникает ток, но другого направления. При этом машина перейдет в **генераторный режим**: механическая энергия, затрачиваемая на вращение якоря, будет преобразовываться в электрическую и поступать в сеть.

Перевод машины из двигательного в генераторный режим используют для торможения двигателя, так как в генераторном режиме электромагнитный момент является тормозящим (рекуперативное торможение).

**Задание 4. Решение:**

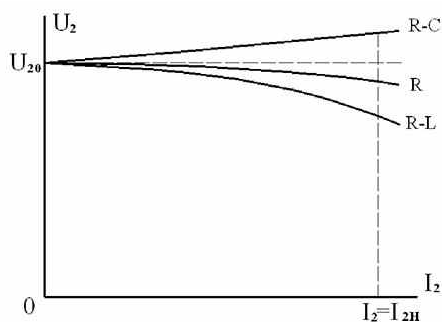
Определим ЭДС, наводимую в обмотке якоря

$$E = c_E \cdot n \cdot \Phi = 25 \cdot 1500 \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 1500 \text{ В.}$$

Экзаменационный билет № 7

**Задание 1. Внешняя характеристика трансформатора.**

Внешней характеристикой трансформатора называют зависимость  $U_2 = f(I_2)$  при  $U_1$  и  $\cos\varphi_1 = \text{const}$  (рис. 1).



Внешняя характеристика трансформатора

Внешняя характеристика трансформатора при увеличении тока нагрузки до номинального является достаточно жесткой. Изменение напряжения составляет всего несколько процентов и зависит от характера нагрузки, что находится в соответствии с векторной диаграммой.

При активной и активно-индуктивной нагрузке напряжение уменьшается, при активно-емкостной нагрузке оно может несколько возрасти. На практике величина изменения напряжения обычно рассчитывается по приближенной формуле:

$$\Delta U \approx \beta (U_{ak} \cos\varphi_2 + U_{pk} \sin\varphi_2)$$

где  $\beta = I_2/I_{2н}$  нагрузка трансформатора в относительных единицах;

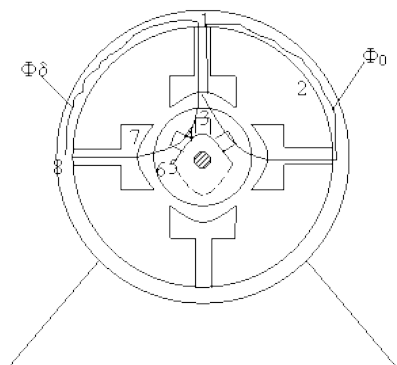
$$U_{ak} = U_k \cos\varphi_2; U_{pk} = U_k \sin\varphi_2$$

**Задание 2. Магнитная цепь и магнитное поле синхронной машины.**

Магнитной цепью называется совокупность тел и участков окружающего пространства, по которым замыкается поток магнитной индукции.

**Магнитная цепь машины** предназначена для создания и распределения магнитного поля в воздушном зазоре и состоит из главных полюсов, сердечника якоря, воздушного зазора между полюсами и якорем и ярма (станины). В зависимости от числа главных полюсов магнитная система может быть двух-, четырех-, шестиполюсной и т.д.

Изобразим машину постоянного тока в разрезе, чтобы изобразить магнитную цепь.



Рассмотрим машину при работе на холостом ходе (без нагрузки, отсутствует ток в обмотке и создается магнитное поле с помощью главных полюсов), токов в добавочных полюсах нету, влияние из незначительное.

Магнитная цепь машины постоянного тока состоит из участков:

1. 1-2, 7-8 – главные полюса
2. 2-3, 6-7 – воздушный зазор
3. 3-4, 5-6 – зубцовый зазор
4. 4-5 – спинка якоря
5. 1-8 – станина.

Магнитный поток имеет две составляющие:  $\Phi_0$  магнитный поток и  $\Phi_\delta$  - магнитный поток рассеивания. На участках 1, 2, 3 -  $\Phi_0$ , а на участках 4, 5 -  $\Phi_0/2$

Материалы, используемые при изготовлении:

- 1) Электротехническая сталь
- 2) Воздух.
- 3) Стенка из стали
- 4) Станина.

Все участки выполнены из ферромагнитного материала. В результате МДС витков будут складываться из МДС участков магнитной сети. Сумма магнитных напряжений на всех перечисленных участках магнитной цепи определяет МДС обмотки возбуждения на пару полюсов в режиме х.х. (А):

$$F_{BO} = \Sigma F = 2F_\delta + 2F_{z1} + 2F_{z2} + 2F_m + F_{cl} + F_{ob}$$

где  $F_\delta, F_{z1}, F_{z2}, F_m, F_{cl}, F_{ob}$  - соответственно соответственно магнитные напряжения зазора, зубцовых слоев статора и ротора, полюсов, спинки статора и обода, А.

**Задание 3.** Схема и характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

В этом двигателе обмотка возбуждения включена последовательно в цепь якоря, поэтому магнитный поток  $\Phi$  зависит от тока нагрузки  $I = I_a = I_b$ . При небольших нагрузках магнитная система машины ненасыщенна и зависимость магнитного потока от тока нагрузки прямо пропорциональна, т.е.  $\Phi = k_\phi I_a$ , где  $k_\phi$  - коэффициент пропорциональности. При этом электромагнитный момент:

$$M = C_M k_\phi I_a^2$$

Формула частоты вращения принимает вид:

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e k_\phi I_a} = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{I_a \Sigma r}{c_e I_a}$$

Таким образом, вращающий момент двигателя при ненасыщенной магнитной системе пропорционален квадрату тока, а частота вращения обратно пропорциональна току нагрузки.

#### Рабочие характеристики

- 1) Скоростная характеристика  $n = f(I)$

При ненасыщенной магнитной системе (при малых нагрузках) с увеличением нагрузки частота вращения резко убывает. Но затем наступает насыщение магнитной системы двигателя и магнитный поток при возрастании нагрузки практически не изменяется и скоростная характеристика приобретает почти прямолинейный характер. Таковую характеристику принято называть *мягкой*.

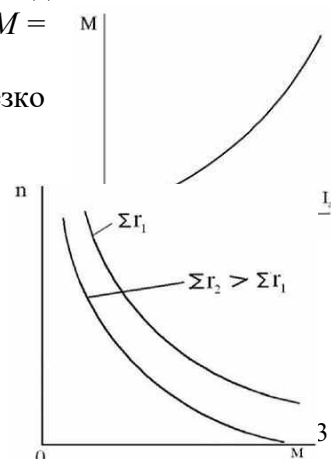
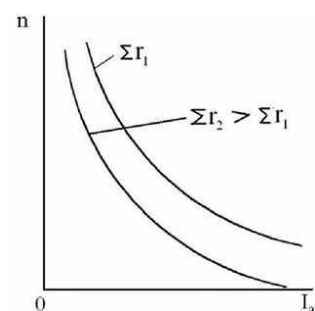
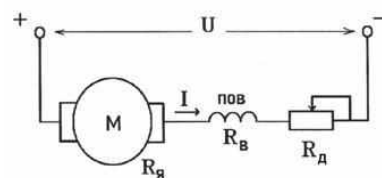
При уменьшении нагрузки двигателя постоянного тока последовательного возбуждения частота вращения резко увеличивается и при нагрузке меньше 25% от номинальной может достигнуть опасных для двигателя значений («разнос»). Поэтому работа двигателя последовательного возбуждения или его пуск при нагрузке на валу меньше 25% от номинальной недопустима.

Для более надежной работы вращающий момент с двигателя на рабочий механизм передают только с помощью зубчатых передач. Применение ременных и цепных передач недопустимо, так как при разрыве гибкой связи может произойти «разнос» двигателя.

- 2) Зависимость электромагнитного момента  $M$  от тока нагрузки  $M = f(I)$ .

Электромагнитный момент  $M$  при увеличении нагрузки резко возрастает, так как он пропорционален квадрату тока нагрузки.

3) Механическая характеристика  $n = f(M)$ . Резко падающая кривая механической характеристики обеспечивает двигателю постоянного тока последовательного возбуждения устойчивую работу при любой нагрузке большей 25% от номинальной.



**Задание 4. Решение:**

Определим ЭДС, наводимую в обмотке якоря

$$E = \frac{pN}{60a} \Phi n = \frac{2 \cdot 690}{60 \cdot 2} \cdot 0,012 \cdot 1500 = 207B$$

Экзаменационный билет № 8

**Задание 1. Потери и КПД трансформатора.**

*Коэффициентом полезного действия трансформатора* называют отношение отдаваемой мощности  $P_2$  к мощности  $P_1$ :

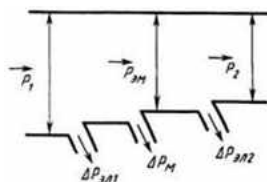
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_1 I_1 \cos \varphi_1}; \text{ или } \eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1}$$

где  $\Delta P$  - суммарные потери в трансформаторе.

Высокие значения КПД трансформаторов не позволяют определять его с достаточной степенью точности путем непосредственного измерения мощностей  $P_1$  и  $P_2$ , поэтому его вычисляют *косвенным методом* по значению потерь мощности.

С учетом энергетической диаграммы формулу можно представить в виде

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{\text{эл}1} + \Delta P_{\text{эл}2} + \Delta P_{\text{м}}} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{эл}1} + \Delta P_{\text{эл}2} + \Delta P_{\text{м}}}{P_2 + \Delta P_{\text{эл}1} + \Delta P_{\text{эл}2} + \Delta P_{\text{м}}}$$



Энергетическая диаграмма трансформатора

Согласно требованиям ГОСТа потери мощности в трансформаторе определяют по данным опытов холостого хода и короткого замыкания. Получаемый при этом результат имеет высокую точность, так как при указанных опытах трансформатор не отдает мощность нагрузке. Следовательно, вся мощность, поступающая в первичную обмотку, расходуется на компенсацию имеющихся в нем потерь.

При опыте холостого хода ток  $I_0$  невелик и электрическими потерями мощности в первичной обмотке можно пренебречь. В то же время магнитный поток практически равен потоку при нагрузке, так как его значение определяется приложенным к трансформатору напряжением. Магнитные потери в стали пропорциональны квадрату значения магнитного потока. Следовательно, с достаточной точностью можно считать, что *магнитные потери в стали магнитопровода равны мощности, потребляемой трансформатором при холостом ходе и номинальном первичном напряжении*, т. е.

$$\Delta P_{\text{м}} \approx P_0$$

Для определения суммарных электрических потерь согласно упрощенной схеме замещения полагают, что  $I_2' = I_1$ . При этом

$$\Delta P_{\text{эл}} = \Delta P_{\text{эл}1} + \Delta P_{\text{эл}2} = I_1^2 R_1 + I_2'^2 R_2 \approx I_1^2 (R_1 + R_2') \approx I_1^2 R_k$$

Или

$$\Delta P_{\text{эл}} \approx \beta^2 I_{2\text{ном}}^2 R_k \approx \beta^2 \Delta P_{\text{эл.ном}}$$

где  $\Delta P_{\text{эл.ном}}$  - суммарные электрические потери при номинальной нагрузке.

За расчетную температуру обмоток - условную температуру, к которой должны быть отнесены потери мощности  $\Delta P_{\text{эл}}$  и напряжения  $u_k$ , принимают: для масляных и сухих трансформаторов с изоляцией классов нагревостойкости А, Е, В температуру  $75^\circ \text{C}$ ; для трансформаторов с изоляцией классов нагревостойкости F, H - температуру  $115^\circ \text{C}$ .

Величину  $\Delta P_{\text{эл.ном}} \approx I_{2\text{ном}}^1 R_k \approx I_{2\text{ном}}^2 R_k$  можно с достаточной степенью точности принять равной мощности  $P_k$ , потребляемой трансформатором при опыте короткого замыкания, который проводится при номинальном токе нагрузки. При этом магнитные потери в стали  $\Delta P_{\text{м}}$

весьма малы по сравнению с потерями  $\Delta P_{эл}$  из-за сильного уменьшения напряжения  $U_1$  а следовательно, и магнитного потока трансформатора и ими можно пренебречь. Таким образом,

$$\Delta P_{эл} = \beta^2 P_k$$

Полные потери

$$\Delta P = P_0 + \beta^2 P_k$$

Подставляя полученные значения  $P$  в и учитывая, что  $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \approx \beta S_{ном} \cos \varphi_2$ , находим

$$\eta_{ном} = \frac{S_{ном} \cos \varphi_2}{(S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{ст} + P_{0,ном})}$$

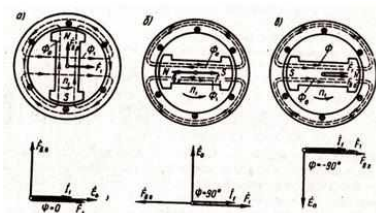
Эта формула рекомендуется ГОСТом для определения КПД трансформатора. Значения  $P_0$  и  $P_k$  для силовых трансформаторов приведены в соответствующих стандартах и каталогах.

### Задание 2. Реакция якоря синхронной машины и ее виды.

В процессе работы нагруженного синхронного генератора в нем одновременно действуют МДС возбуждения  $F_{в0}$  и статора (якоря)  $F_1$ , при этом МДС статора (якоря) воздействует на МДС возбуждения, усиливая или ослабляя поле возбуждения или же искажая его форму. Воздействие МДС обмотки статора (якоря) на МДС обмотки возбуждения называется *реакцией якоря*. Реакция якоря оказывает влияние на рабочие свойства синхронной машины, так как изменение магнитного поля в машине сопровождается изменением ЭДС, наведенной в обмотке статора, а следовательно, изменением и ряда других величин, связанных с этой ЭДС. Влияние реакции якоря на работу синхронной машины зависит от значения и характера нагрузки.

Синхронные генераторы работают на смешанную нагрузку (активно-индуктивную или активно-емкостную).

**Активная нагрузка** ( $\psi = 0$ ). На рис. *a* представлены статор и ротор двухполюсного генератора. На статоре показана часть фазной обмотки. Ротор явнополюсный, вращается против движения часовой стрелки. В рассматриваемый момент времени ротор занимает вертикальное положение, что соответствует максимуму ЭДС  $E_0$  в фазной обмотке. Так как ток при активной нагрузке совпадает по фазе с ЭДС, то указанное положение ротора соответствует также и максимуму тока. Изобразив линии магнитной индукции поля возбуждения (ротора) и линии магнитной индукции поля обмотки статора, видим, что МДС статора  $F_1$ , направлена перпендикулярно МДС возбуждения  $F_{в0}$ .



Реакция якоря синхронного генератора при активной (*a*), индуктивной (*b*) и емкостной (*c*) нагрузках

Такое воздействие МДС статора (якоря)  $F_1$  на МДС возбуждения  $F_{в0}$  вызовет искажения результирующего поля машины: *магнитное поле машины ослабляется под набегающим краем полюса и усиливается под сбегающим краем полюса*. Вследствие насыщения магнитной цепи результирующее магнитное поле машины несколько ослабляется. Объясняется это тем, что размагничивание набегающих краев полюсных наконечников и находящихся над ними участков зубцового слоя статора происходит беспрепятственно, а подмагничивание сбегающих краев полюсных наконечников и находящихся над ними участков зубцового слоя статора ограничивается магнитным насыщением этих элементов магнитной цепи. В итоге результирующий магнитный поток машины ослабляется, т. е. магнитная система несколько размагничивается. Это ведет к уменьшению ЭДС машины  $E_1$ .

**Индуктивная нагрузка** ( $\psi_1 = 90^\circ$ ). При чисто индуктивной нагрузке генератора ток статора  $I_1$  отстает по фазе от ЭДС  $E_0$  на  $90^\circ$ . Поэтому он достигает максимального значения лишь после поворота ротора вперед на  $90^\circ$  относительно его положения, соответствующего

максимуму ЭДС  $\dot{E}_0$ . При этом МДС  $\dot{F}_1$  действует вдоль оси полюсов ротора встречно МДС возбуждения  $\dot{F}_{в0}$ . В этом мы также убеждаемся, построив векторную диаграмму.

Такое действие МДС статора  $F_1$  ослабляет поле машины. Следовательно, *реакция якоря в синхронном генераторе при чисто индуктивной нагрузке оказывает продольно-размагничивающее действие.*

В отличие от реакции якоря при активной нагрузке в рассматриваемом случае магнитное поле не искажается.

**Емкостная нагрузка.** ( $\psi = -90^\circ$ ). Так как ток  $\dot{I}_1$  при емкостной нагрузке опережает по фазе ЭДС  $\dot{E}_0$  на  $90^\circ$ , то своего наибольшего значения он достигает раньше, чем ЭДС, т. е. когда ротор займет положение, показанное на рис. 3, в. Магнитодвижущая сила статора  $\dot{F}_1$  так же, как и в предыдущем случае, действует по оси полюсов, но теперь уже согласно с МДС возбуждения  $\dot{F}_{в0}$ .

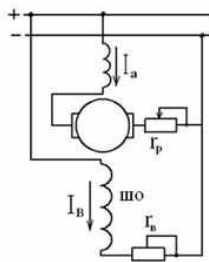
При этом происходит усиление магнитного поля возбуждения.

Таким образом, при *чисто емкостной нагрузке синхронного генератора реакция якоря оказывает продольно-намагничивающее действие.* Магнитное поле при этом не искажается.

### Смешанная нагрузка.

При смешанной нагрузке синхронного генератора ток статора  $\dot{I}_1$  сдвинут по фазе относительно ЭДС  $\dot{E}_0$  на угол  $\psi$ , значения которого находятся в пределах  $0 < \psi_1 < \pm 90^\circ$ .

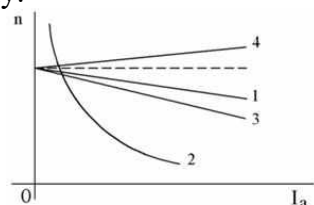
**Задание 3.** Схема и характеристики двигателя постоянного тока смешанного возбуждения.



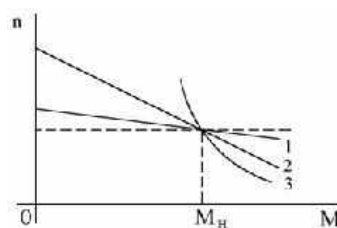
Этот двигатель имеет две обмотки возбуждения: параллельную и последовательную. Частота вращения определяется формулой  $n = \frac{60}{2\pi} \frac{E}{\Phi}$ . Знак «плюс» соответствует согласному включению обмоток возбуждения (потоки складываются). В этом случае с увеличением нагрузки общий магнитный поток увеличивается (за счет потока последовательной обмотки  $\Phi_2$ ), что ведет к уменьшению частоты вращения двигателя. Знак «минус» соответствует встречному включению обмоток возбуждения, при этом поток последовательной обмотки  $\Phi_2$  размагничивает машину, что, наоборот, повышает частоту вращения.

Работа двигателя при этом становится неустойчивой, так как с увеличением нагрузки частота вращения неограниченно растет. Однако при небольшом числе витков последовательной обмотки с увеличением нагрузки частота вращения не возрастает и во всем диапазоне нагрузок остается практически неизменной.

Рассмотрим характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при согласном включении обмоток. *Скоростная и механическая* характеристики этого двигателя более жесткие, чем у двигателя последовательного возбуждения, но менее жесткие, чем у двигателя параллельного возбуждения. Эти двигатели могут работать в режиме холостого хода так как поток параллельной обмотки  $\Phi_1$  ограничивает частоту вращения  $n$  и устраняет опасность «разноса». Регулировать частоту вращения можно реостатом  $r_{рг}$  в цепи параллельной обмотки возбуждения. Однако наличие двух обмоток возбуждения удорожает и усложняет машину.



Скоростные характеристики двигателя смешанного возбуждения



Механические характеристики двигателя смешанного возбуждения

Применение двигателей смешанного возбуждения. Эти двигатели применяют обычно там, где требуются значительные пусковые моменты, быстрое ускорение при разгоне, устойчивая работа и допустимо лишь небольшое снижение частоты вращения при увеличении нагрузки на вал (грузовые подъемники, насосы, компрессоры).

**Задание 4. Решение:**

1) Определим ЭДС первичной обмотки

$$E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot f \cdot \Phi_m$$

$$E_1 = 4,44 \cdot 580 \cdot 50 \cdot 0,72 \cdot 10^{-2} = 927 \text{ В}$$

2) Определим ЭДС вторичной обмотки

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot f \cdot \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 \cdot 75 \cdot 50 \cdot 0,72 \cdot 10^{-2} = 120 \text{ В}$$

3) Определим ЭДС вторичной обмотки при подвижном якоре

$$E_{2s} = E_2 \cdot s$$

$$E_{2s} = 120 \cdot 0,04 = 4,8 \text{ В.}$$

### Экзаменационный билет № 9

**Задание 1.** Принцип регулирования напряжения трансформатора.

Одним из распространенных способов регулирования напряжения на шинах подстанции является переключение ответвлений на трансформаторах. С этой целью у обмоток (как правило, высшего напряжения, имеющих меньший рабочий ток) трансформаторов предусматриваются регулировочные ответвления и специальные переключатели ответвлений, при помощи которых изменяют число включенных в работу витков, увеличивая или уменьшая коэффициент трансформации: где  $w_{ВН}$  и  $w_{НН}$  - число включенных в работу витков обмоток ВН и НН соответственно. Изменение коэффициента трансформации между обмотками высшего и низшего напряжений позволяет поддерживать на шинах НН напряжение, близкое к

$$K_{ВН-НН} = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{w_{ВН}}{w_{НН}}, \text{ отклоняется по тем или иным причинам от номинального.}$$

Операции переключения секции витков производят на отключенном от сети трансформаторе устройством ПБВ (переключение без возбуждения) либо на работающем трансформаторе непосредственно под нагрузкой устройством РПН (регулирование под нагрузкой). Трансформаторы большой мощности с устройствами ПБВ имеют до пяти ответвлений для получения четырех ступеней напряжения относительно номинального  $(\pm 2 \times 2,5\%) U_{ном}$ . Применяется на трансформаторах, на которых напряжение регулируется редко, например, сезонно.

Трансформаторы с РПН имеют большее число регулирующих ступеней и более широкий диапазон регулирования  $(\pm 10\% U_{ном})$ , чем трансформаторы с ПБВ. Каждый фазный вывод трансформатора имеет два подвижных контакта, один из которых прижат к соответствующему данному напряжению витку обмотки; при переводе второй, свободный контакт прижимается к следующему витку (с отличающимся напряжением), и только после этого первый контакт отрывается от витка, к которому был прижат. Так достигается возможность переподключения вывода к другому витку без разрыва цепи. Для РПН предусмотрен привод от электродвигателя или ручной. Привод от двигателя управляется дистанционно, часто используется для автоматического регулирования. Ручным приводом в целях безопасности персонала можно пользоваться только на отключенном трансформаторе. РПН имеют трансформаторы большой мощности, устанавливаемые на узловых подстанциях, и ими регулируется напряжение в любое нужное время.

**Задание 2.** Уравнения напряжений синхронного генератора.

Предположим, что составляющие результирующей МДС генератора под нагрузкой действуют независимо, т.е. каждая МДС создает собственный магнитный поток. При этом МДС обмотки возбуждения  $F_{в0}$  создает магнитный поток возбуждения  $F_{в0}$ , который наводит в обмотке статора основную ЭДС генератора  $E_0$ . МДС реакции якоря  $F_a$  создает магнитный поток  $F_a$ , который наводит в обмотке статора ЭДС реакции якоря  $E_a$

В явнополюсной машине МДС реакции якоря по продольной оси  $F_{ad}$  создает магнитный поток  $F_{ad}$ , наводящий в обмотке статора ЭДС  $E_{ad}$ .

В неявнополюсной машине реакция якоря определяется полной МДС статора без разделения ее по осям. ЭДС реакции якоря  $\underline{E}_a = -jI_1 X_a$ , где  $X_a$  – главное индуктивное сопротивление обмотки статора. Магнитный поток рассеяния обмотки статора наводит в обмотке статора ЭДС рассеяния  $\underline{E}_{s1} = -jI_1 X_1$ , где  $X_1$  – индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора. Ток в обмотке статора  $I_1$  создает активное падение напряжения  $\underline{I}_1 R_1$ , где  $R_1$  – активное сопротивление фазы обмотки статора.

Уравнение напряжения синхронного генератора:

$$\underline{U} = \dot{a}_1 \underline{E} - \underline{I}_1 R_1$$

где  $\dot{a}_1 \underline{E}$  – геометрическая сумма напряжений, наводимых в обмотке статора результирующим магнитным полем машины.

Для неявнополюсной машины

$$\underline{U} = \underline{E}_0 + \underline{E}_a + \underline{E}_{s1} - \underline{I}_1 R_1. \text{ Или } \underline{U} = \underline{E}_0 - jI_1 X_a - jI_1 X_1 - \underline{I}_1 R_1 = \underline{E}_0 - jI_1 (X_a + X_1) - \underline{I}_1 R_1;$$

$\underline{U} = \underline{E}_0 + \underline{E}_c - \underline{I}_1 R_1$ , где  $X_c = X_a + X_1$  – синхронное сопротивление;  $\underline{E}_c$  – синхронная ЭДС неявнополюсной машины.

Для явнополюсной машины

$$\underline{U} = \underline{E}_0 + \underline{E}_{ad} + \underline{E}_{aq} + \underline{E}_{s1} - \underline{I}_1 R_1,$$

где ЭДС рассеяния  $\underline{E}_{s1} = \underline{E}_{s1d} + \underline{E}_{s1q}$ ,  $\underline{E}_{s1d} = -jI_d X_1$ ,  $\underline{E}_{s1q} = -jI_q X_1$ ;

ЭДС реакции якоря  $\underline{E}_a = \underline{E}_{ad} + \underline{E}_{aq}$ ,  $\underline{E}_{ad} = -jI_d X_{ad}$ ,  $\underline{E}_{aq} = -jI_q X_{aq}$ .

Тогда

$$\underline{U} = \underline{E}_0 - jI_d X_{ad} - jI_q X_{aq} - jI_d X_1 - jI_q X_1 - \underline{I}_1 R_1,$$

$$\text{Или } \underline{U} = \underline{E}_0 - jI_d X_d - jI_q X_q - \underline{I}_1 R_1,$$

где  $X_d = X_{ad} + X_1$  и  $X_q = X_{aq} + X_1$  – полные (синхронные) индуктивные сопротивления обмотки якоря по продольной и поперечной осям соответственно.

### Задание 3. Потери и КПД машин постоянного тока.

В машинах постоянного тока, как и в других электрических машинах, имеют место магнитные, электрические и механические потери (составляющие группу основных потерь) и добавочные потери.

Магнитные потери  $P_m$  происходят только в сердечнике якоря, так как только этот элемент магнитопровода машины постоянного тока подвергается перемагничиванию. Величина магнитных потерь, состоящих из потерь от гистерезиса и потерь от вихревых токов, зависит от частоты перемагничивания

$f = pn/60$ , значений магнитной индукции в зубцах и спинке якоря, толщины листов электротехнической стали, ее магнитных свойств и качества изоляции этих листов в пакете якоря.

Электрические потери в коллекторной машине постоянного тока обусловлены нагревом обмоток и щеточного контакта. Потери в цепи возбуждения определяются потерями в обмотке возбуждения и в реостате, включенном в цепь возбуждения:

$$P_{э.в} = U_в I_в. \quad (1)$$

Здесь  $U_в$  – напряжение на зажимах цепи возбуждения.

Потери в обмотках цепи якоря

$$P_{э.а} = I_a^2 \sum r, \quad (2)$$

где сопротивление обмоток в цепи якоря  $\sum r$ , приведенное к расчетной рабочей температуре  $\theta_{раб.}$ .

Электрические потери также имеют место и в контакте щеток:

$$P_{э.щ} = \Delta U_{щ} I_a, \quad (3)$$

где  $\Delta U_{щ}$  – переходное падение напряжения, В, на щетках обеих полярностей.



Электрические потери в цепи якоря и в щеточном контакте зависят от нагрузки машины, поэтому эти потери называют *переменными*.

*Механические потери.* В машине постоянного тока механические потери складываются из потерь от трения щеток о коллектор

$$P_k = k_{mp} S_{щ} f_{щ} V_k \quad (4)$$

трения в подшипниках  $P_n$  и на вентиляцию  $P_{вен}$

$$P_{мех} = P_k + P_n + P_{вен}, \quad (5)$$

где  $k_{mp}$  - коэффициент трения щеток о коллектор ( $k_{mp} = 0,2 \div 0,3$ );

$S_{щ}$  - поверхность соприкосновения всех щеток с коллектором, м<sup>2</sup>;

$f_{щ}$  — удельное давление, Н/м<sup>2</sup>, щетки) для машин общего назначения

$f_{щ} = (2 \div 3) \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup>);

$V_k$  - окружная скорость коллектора (м/с) диаметром  $D_k$  (м)

$$D_k = n D_k n / 60. \quad (6)$$

Механические и магнитные потери при стабильной частоте вращения ( $n = const$ ) можно считать *постоянными*.

Сумма магнитных и механических потерь составляют потери х.х.:

$$P_0 = P_m + P_{мех}. \quad (7)$$

Если машина работает в качестве двигателя параллельного возбуждения в режиме х.х., то она потребляет из сети мощность

$$P_{10} = UI_{a0} + U_e I_e = P_m + P_{мех} + I_{a0}^2 \sum r + \Delta U_{щ} I_{a0} + U_e I_e. \quad (8)$$

Однако ввиду небольшого значения тока  $I_{a0}$  электрические потери  $I_{a0}^2 \sum r$  весьма малы и обычно не превышают 3% потерь  $P_0 = P_m + P_{мех}$ . Поэтому, не допуская заметной ошибки, можно записать  $P_{10} = UI_{a0} + U_e I_e = P_0 + U_e I_e$  откуда потери х.х.

$$P_0 = P_{10} - U_e I_e \quad (9)$$

Таким образом, потери х.х. (магнитные и механические) могут быть определены экспериментально.

В машинах постоянного тока имеется ряд трудно учитываемых потерь- *добавочных*. Эти потери складываются из потерь от вихревых токов в меди обмоток, потерь в уравнивательных соединениях, в стали якоря из-за неравномерного распределения индукции при нагрузке, в полюсных наконечниках, обусловленных пульсацией основного потока из-за наличия зубцов якоря, и др. Добавочные потери составляют хотя и небольшую, но не поддающуюся точному учету величину. Поэтому, согласно ГОСТу, в машинах без компенсационной обмотки значение добавочных потерь  $P_d$  принимают равным 1% от полезной мощности для генераторов или 1% от подводимой мощности для двигателей. В машинах с компенсационной обмоткой значение добавочных потерь принимают равным соответственно 0,5%.

Мощность (Вт) на входе машины постоянного тока (подводимая мощность):

для генератора (механическая мощность)

$$P_{1ген} = M_1 \omega = 0,105 M_1 n, \quad (10)$$

где  $M_1$  - вращающий момент приводного двигателя, Н·м;

для двигателя (электрическая мощность)

$$P_{1дв} = UI. \quad (11)$$

Мощность (Вт) на выходе машины (полезная мощность):

для генератора (электрическая мощность)

$$P_{2ген} = UI; \quad (12)$$

для двигателя (механическая мощность)

$$P_{2дв} = 0,105 M_2 n. \quad (13)$$

Здесь  $M_1$  и  $M_2$  - момент на валу электрической машины, Н·м;

$n$  - частота вращения, об/мин.

**Задание 4. Решение:**

1) Определим частоту вращения

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

2) Определим скольжение

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% = \frac{1000 - 950}{1000} \cdot 100 = 5\%$$

3) Определим частоту тока

$$f_1 = f \cdot s = 50 \cdot 0,05 = 2,5\%$$

4) Определим коэффициент трансформации

$$k = E_1/E_2 = 660/15 = 44$$

5) Определим ЭДС, индуцируемое в фазе обмотки ротора

$$E_{2s} = E_2 \cdot s = 44 \cdot 0,05 = 22 \text{ В.}$$

### Экзаменационный билет № 10

**Задание 1.** Группы соединения обмоток трансформаторов.

До сих пор при построении векторных диаграмм трансформатора считалось, что ЭДС фазы обмотки ВН  $\dot{E}_{AX}$  и обмотки НН  $\dot{E}_{ax}$  совпадают по фазе. Но это справедливо лишь при условии намотки первичной и вторичной обмоток трансформатора в одном направлении и одноименной маркировке выводов этих обмоток, как показано на рис. 1, а. Если же в трансформаторе изменить направление обмотки НН или же переставить обозначения ее выводов, то ЭДС  $\dot{E}_{ax}$  окажется сдвинутой по фазе относительно ЭДС  $\dot{E}_{AX}$  на  $180^\circ$  (рис. 1, б). Сдвиг фаз между ЭДС  $\dot{E}_{AX}$  и  $\dot{E}_{ax}$  принято выражать группой соединения. Так как этот сдвиг фаз может изменяться от 0 до  $360^\circ$ , а кратность сдвига составляет  $30^\circ$ , то для обозначения группы соединения принят ряд чисел: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 0.

Угол смещения вектора линейной ЭДС обмотки НН по отношению к вектору линейной ЭДС обмотки ВН определяют умножением числа, обозначающего группу соединения, на  $30^\circ$ . Угол смещения отсчитывают от вектора ЭДС обмотки ВН по часовой стрелке до вектора ЭДС обмотки НН. Например, группа соединения 5 указывает, что вектор ЭДС НН отстает по фазе от вектора ЭДС ВН на угол  $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$ .

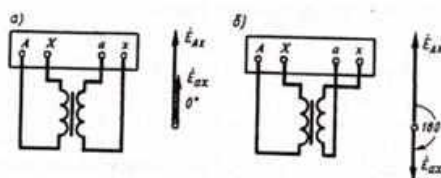


Рисунок 1 – Группы соединения обмоток однофазных трансформаторов  
а – группа I/I-0; б - группа I/I-6

Для лучшего понимания принятого обозначения групп соединения пользуются сравнением с часами. При этом вектор ЭДС обмотки ВН соответствует минутной стрелке, установленной на цифре 12, а вектор ЭДС обмотки НН - часовой стрелке (рис. 2). Так же необходимо иметь в виду, что совпадение по фазе векторов ЭДС  $\dot{E}_{AX}$  и  $\dot{E}_{ax}$ , эквивалентное совпадению стрелок часов на циферблате, обозначается группой 0 (а не 12). Кроме того, следует помнить, что за положительное направление вращения векторов ЭДС принято их вращение против часовой стрелки.

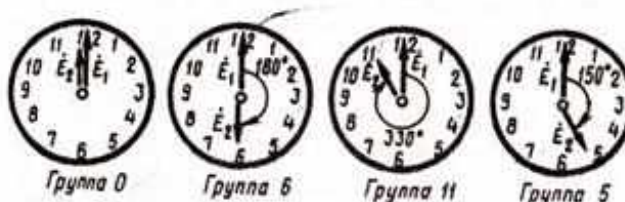


Рисунок 2 – Сравнение положения стрелок часов с обозначением групп соединения

Таким образом, в однофазном трансформаторе возможны лишь две группы соединения: группа 0, соответствующая совпадению по фазе  $\dot{E}_{AX}$  и  $\dot{E}_{ax}$ , и группа 6, соответствующая сдвигу фаз между  $\dot{E}_{AX}$  и  $\dot{E}_{ax}$  на  $180^\circ$ . Из этих групп ГОСТ предусматривает лишь группу 0, она обозначается I/I-0.

Применением разных способов соединения обмоток в трехфазных трансформаторах можно создать 12 различных групп соединения. Рассмотрим в качестве примера схему соединений «звезда-звезда» (рис. 3, а). Векторные диаграммы ЭДС показывают, что сдвиг между линейными ЭДС  $\dot{E}_{AB}$  и  $\dot{E}_{ab}$  в данном случае равен нулю. В этом можно убедиться, совместив точки *A* и *a* при наложении векторных диаграмм ЭДС обмоток ВН и НН.

Следовательно, при указанных схемах соединения обмоток имеет место группа 0; обозначается Y/Y-0. Если же на стороне НН в нулевую точку соединить зажимы  $a, b$  и  $c$ , а снимать ЭДС с зажимов  $x, y$ , и  $z$ , то ЭДС  $\dot{E}_a$  изменит фазу на  $180^\circ$  и трансформатор будет принадлежать группе 6 (Y/Y-6) (рис. 3, б).

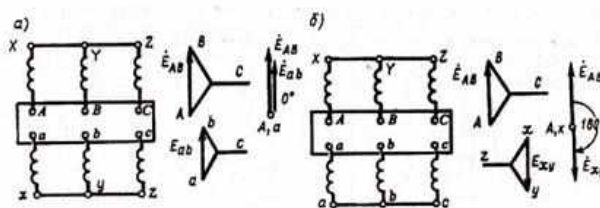


Рисунок 3 – Схемы соединения обмоток и векторные диаграммы:  
а – для группы Y/Y-0; б - Y/Y-6

При соединении обмоток «звезда-треугольник», показанном на рис. 4, а, имеет место группа 11 (Y/Δ-11). Если же поменять местами начала и концы фазных обмоток НН, то вектор  $\dot{E}_{ab}$  повернется на  $180^\circ$  и трансформатор будет относиться к группе 5 (Y/Δ-5) (рис. 4, б).

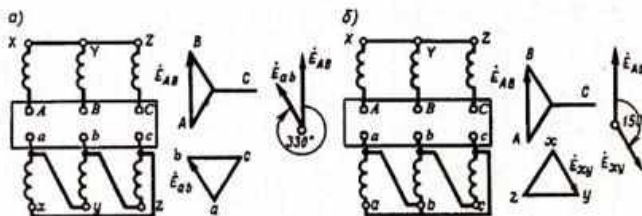


Рисунок 4 – Схемы соединения обмоток и векторные диаграммы:  
а – для группы Y/Δ-11; б - Y/Δ-5

При одинаковых схемах соединения обмоток ВН и НН, например Y/Y и Δ/Δ, получают четные группы соединения, а при неодинаковых схемах, например Y/Δ или Δ/Y, - нечетные.

Рассмотренные четыре группы соединения (0, 6, 11 и 5) называют *основными*. Из каждой основной группы соединения методом круговой перемаркировки выводов на одной стороне трансформатора, например на стороне НН (без изменения соединения), можно получить по две производные группы. Например, если в трансформаторе с группой соединения Y/Y-0 (рис. 3, а) выводы обмотки НН перемаркировать и вместо последовательности  $abc$  принять последовательность  $cab$ , то вектор ЭДС  $\dot{E}_{ab}$  повернется на  $120^\circ$ , при этом получим группу соединения Y/Y-4. Если же выводы обмоток НН перемаркировать в последовательность  $bca$ , то вектор  $\dot{E}_{ab}$  повернется еще на  $120^\circ$ , а всего на  $240^\circ$ ; получим группу Y/Y-8.

Аналогично от основной группы 6 путем круговой перемаркировки получают производные группы 10 и 2, от основной группы 11 - производные группы 3 и 7, от основной группы 5 - производные группы 9 и 1.

Основные группы соединения имеют некоторое преимущество перед производными, так как предусматривают одноименную маркировку выводов обмоток, расположенных на одном стержне. Это уменьшает вероятность ошибочных присоединений. Однако не все группы соединения имеют практическое применение в трехфазных трансформаторах.

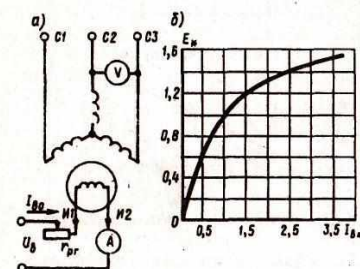
## Задание 2. Характеристики синхронного генератора.

Свойства синхронного генератора определяются характеристиками холостого хода, короткого замыкания, внешними и регулировочными.

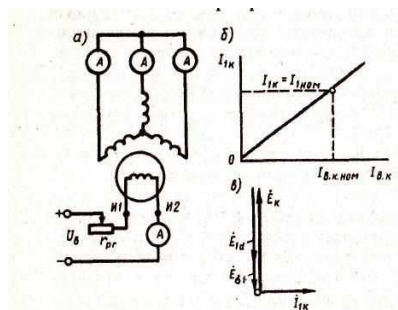
### Характеристика холостого хода синхронного генератора.

Представляет собой график зависимости напряжения на выходе генератора в режиме х.х.  $U_1 = E_0$  от тока возбуждения  $I_{в0}$  при  $n_1 = \text{const}$ .

**Характеристика короткого замыкания.** Характеристику трехфазного к.з. получают следующим образом: выводы обмотки статора замыкают накоротко и при вращении ротора с частотой вращения  $\omega$ , постепенно увеличивают ток возбуждения до значения, при котором ток к.з. превышает номинальный рабочий ток статорной обмотки не более чем на 25% ( $I_{1к} = 1,25I_{ном}$ ). Так как в этом случае ЭДС обмотки статора имеет значение, в несколько раз



меньшее, чем в рабочем режиме генератора, и, следовательно, основной магнитный поток весьма мал, то магнитная оказывается ненасыщенной. По этой причине характеристика к.з. представляет собой прямую линию (рис. б). Активное сопротивление обмотки статора невелико по сравнению с ее индуктивным сопротивлением, поэтому, можно считать, что при опыте к.з. нагрузка синхронного генератора (его собственные обмотки) является чисто индуктивной. Из этого следует, что при опыте к.з. реакция якоря синхронного генератора имеет продольно-размагничивающий характер.



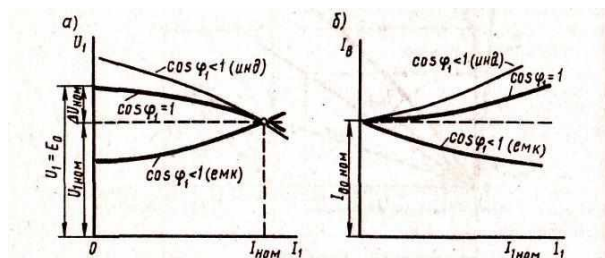
Один из важных параметров синхронной машины - *отношение короткого замыкания* (ОКЗ), которое представляет собой отношение тока возбуждения  $I_{в0ном}$ , соответствующего номинальному напряжению при х.х., к току возбуждения  $I_{в.к.ном}$ , соответствующему номинальному току статора при опыте к.з. (рис. 2, б):

$$ОКЗ = I_{в0ном} / I_{в.к.ном}$$

ОКЗ имеет большое практическое значение при оценке свойств синхронной машины: машины с малым ОКЗ менее устойчивы при параллельной работе, имеют значительные колебания напряжения при изменениях нагрузки, но такие машины имеют меньшие габариты и, следовательно, дешевле, чем машины с большим ОКЗ.

**Внешняя характеристика.** Представляет собой зависимость напряжения на выводах обмотки статора от тока нагрузки:  $U_1 = f(I_1)$  при  $I_b = \text{const}$ ;  $\cos\varphi_1 = \text{const}$ ; и  $n_1 = n_{ном} = \text{const}$ . На рис. а представлены внешние характеристики, соответствующие различным по характеру нагрузкам синхронного генератора.

При активной нагрузке ( $\cos\varphi_1 = 1$ ) уменьшение тока нагрузки  $I_1$  сопровождается ростом напряжения  $U_1$ , что объясняется уменьшением падения напряжения в обмотке статора и ослаблением размагничивающего действия реакции якоря по поперечной оси. При индуктивной нагрузке ( $\cos\varphi_1 < 1$ ; инд.) увеличение  $U_1$  при сбросе нагрузки более интенсивно, так как с уменьшением тока  $I_1$ , ослабляется размагничивающее действие продольной составляющей реакции якоря. Однако в случае емкостной нагрузки генератора ( $\cos\varphi_1 < 1$ ; емк.) уменьшение  $I_1$ , сопровождается уменьшением напряжения  $U_1$ , что объясняется ослаблением подмагничивающего действия продольной составляющей реакции якоря.



Изменение напряжения синхронного генератора, вызванное сбросом номинальной нагрузки при  $I_b = \text{const}$  и  $n_1 = \text{const}$ , называется *номинальным изменением (повышением) напряжения (%)*:

При емкостной нагрузке генератора сброс нагрузки вызывает уменьшение напряжения, а поэтому  $\Delta U_{1ном}$  отрицательно.

**Регулировочная характеристика.** Она показывает, как следует изменять ток возбуждения генератора при изменениях нагрузки, чтобы напряжение на зажимах генератора оставалось неизменно равным номинальному:  $I_b = f(I_1)$  при  $U_1 = U_{1ном} = \text{const}$ ;  $n_1 = n_{ном} = \text{const}$  и  $\cos\varphi_1 = \text{const}$ . На рис. б представлены регулировочные характеристики синхронного генератора. При *активной* нагрузке ( $\cos\varphi_1 = 1$ ) увеличение тока нагрузки  $I_1$  сопровождается уменьшением напряжения  $U_1$ , поэтому для поддержания этого напряжения неизменным по мере увеличения тока нагрузки  $I_1$  следует повышать ток возбуждения. *Индуктивный* характер нагрузки ( $\cos\varphi_1 < 1$ ; инд.) вызывает более резкое понижение напряжения  $U_1$  (рис. 3, а), поэтому ток возбуждения  $I_b$  необходимый для поддержания  $U_1 = U_{1ном}$  следует повышать в большей степени. При *емкостном* же характере нагрузки ( $\cos\varphi_1 < 1$ ; емк.) увеличение нагрузки сопровождается ростом напряжения  $U_1$  поэтому для поддержания  $U_1 = U_{1ном}$  ток возбуждения следует уменьшать.

**Задание 3.** Физические явления в электрических контактах. Типы контактов. Основные конструкции контактных соединений. Параметры контактных соединений.

Места соединения отдельных элементов, составляющих любую электрическую цепь, называются *электрическими контактами*.

Слово «контакт» означает «соприкосновение», «касание». В электрической системе, объединяющей различные аппараты, машины, линии и т. д., для их соединения используется огромное число контактов. От качества контактных соединений в значительной степени зависит надежность работы оборудования и системы.

По назначению и условиям работы контакты можно разделить на две основные группы – неразмыкаемые и размыкаемые контакты. Неразмыкаемые контакты, в свою очередь, подразделяется на неподвижные и подвижные контакты. В неподвижных неразмыкаемых контактах отсутствует перемещение одних контактных частей относительно других (например, болтовые соединения шин), в подвижных происходит их скольжение или качение. Размыкаемые контакты - подвижные.

По роду соприкасающихся поверхностей различают также плоские, линейные и точечные контакты. Плоские контакты образуются при соприкосновении плоских контактных элементов (плоских шин и т. п.).

Примером линейных контактов может служить соприкосновение двух цилиндров с параллельными осями, а точечных — двух сферических поверхностей.

Практически независимо от вида контактов соприкосновение контактных элементов всегда происходит по небольшим площадкам.

Объясняется это тем, что поверхность контактных элементов не может быть идеально ровной. Поэтому практически при сближении контактных поверхностей сначала в соприкосновение приходят несколько выступающих вершин (точек), а затем по мере увеличения давления происходит деформация материала контактов и эти точки превращаются в небольшие площадки. Чем больше сила, приложенная к контактам, и мягче их материал, тем больше общая площадь соприкосновения контактных поверхностей и соответственно меньше активное *электрическое сопротивление* в месте стыка (в зоне переходного слоя между контактирующими поверхностями). Это активное сопротивление называется переходным.

*Переходное сопротивление* - один из основных параметров качества электрических контактов, так как оно характеризует количество энергии, поглощаемой в контактном соединении, которая переходит в теплоту и нагревает контакт. На переходное сопротивление могут оказывать сильное влияние способ обработки контактных поверхностей и их состояние. Например, быстро образующаяся пленка окиси на алюминиевых контактах может значительно увеличить переходное сопротивление.

При прохождении тока через контакты они нагреваются, причем наиболее высокая температура наблюдается на контактной поверхности из-за наличия переходного сопротивления. В результате нагрева контакта увеличивается удельное сопротивление материала контакта и соответственно переходное сопротивление.

**Задание 4.** Решение:

- 1) Определим мощность двигателя, взятую из сети

$$P_1 = \sqrt{3} U_H \cdot I_H \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 27 \cdot 0,82 = 8,43 \text{ кВт}$$

- 2) Определим полезную мощность

$$P_{2\text{ном}} = P_1 \cdot \eta = 8,43 \cdot 0,87 = 7,33 \text{ кВт}$$

- 3) Определим суммарные потери в двигателе

$$\Sigma P = P_1 - P_{2\text{ном}} = 8,43 - 7,33 = 1,1 \text{ кВт}$$

- 4) Определим номинальный момент на валу двигателя

$$M_H = 9,55 P_2 / n_2 = 9,55 \cdot 7,33 \cdot 10^3 / 970 = 72,17 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

- 5) Определим число пар полюсов и скольжение двигателя при номинальной нагрузке  $2p = 6$

$$s_{\text{ном}} = \frac{(n_1 - n_{n2})}{n_1} = \frac{(1000 - 970)}{1500} = 0,03$$

**Задание 1.** Назначение и условия включения трансформаторов на параллельную работу.

*Параллельной работой* двух или нескольких трансформаторов называется работа при параллельном соединении их обмоток, как на первичной, так и на вторичной сторонах. При параллельном соединении одноименные зажимы трансформаторов присоединяют к одному и тому же проводу сети.

Применение нескольких параллельно включенных трансформаторов вместо одного трансформатора суммарной мощности необходимо для обеспечения бесперебойного энергоснабжения в случае аварии в каком-либо трансформаторе или отключения его для ремонта. Это также целесообразно при работе трансформаторной подстанции с переменным графиком нагрузки, например, когда мощность нагрузки значительно меняется в различные часы суток. В этом случае при уменьшении мощности нагрузки можно отключить один или несколько трансформаторов для того, чтобы нагрузка трансформаторов, оставшихся включенными, была близка к номинальной. В итоге эксплуатационные показатели работы трансформаторов (КПД и  $\cos\varphi_2$ ) будут достаточно высокими.

Для того чтобы нагрузка между параллельно работающими трансформаторами распределялась пропорционально их номинальным мощностям, допускается параллельная работа двухобмоточных трансформаторов при следующих условиях:

1. При одинаковом первичном напряжении вторичные напряжения должны быть равны.
2. Трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения.
3. Трансформаторы должны иметь одинаковые напряжения к. з.

**Задание 2.** Потери и КПД синхронных машин.

Преобразование энергии в синхронной машине связано с потерями энергии. Все виды потерь в синхронной машине разделяются на основные и добавочные.

Основные потери в синхронной машине слагаются из электрических потерь в обмотке статора, потерь на возбуждение магнитных потерь и механических потерь.

Электрические потери в обмотке статора (Вт)  $P_{\sigma 1} = m_1 I_1^2 r_1$

где  $r_1$  - активное сопротивление одной фазы обмотки статора при расчетной рабочей температуре, Ом.

Потери на возбуждение (Вт):

а) при возбуждении от отдельного возбуждательного устройства

$$P_{\sigma} = I_{\sigma}^2 r_{\sigma} + \Delta U_{\text{щ}} I_{\sigma}$$

где  $r_{\sigma}$  - активное сопротивление обмотка возбуждения при расчетной рабочей температуре, Ом;

$\Delta U_{\text{щ}} = 2$  В - падение напряжения в щеточном контакте щеток;

б) при возбуждении от генератора постоянного тока (возбудителя), сочлененного с валом синхронной машины,

$$P_{\sigma} = I_{\sigma}^2 r_{\sigma} + \Delta U_{\text{щ}} I_{\sigma} / \eta_{\sigma}$$

где  $\eta_{\sigma} = 0,80 \dots 0,85$  - КПД возбудителя.

Магнитные потери синхронной машины происходят в сердечнике статора, который подвержен перемагничиванию вращающимся магнитным полем. Эти потери состоят из потерь от гистерезиса  $P_{\sigma}$  и потерь от вихревых токов  $P_{\sigma, \text{м}}$ :

$$P_{\text{М}} = P_{\sigma} + P_{\text{в.г}}$$

Механические потери (Вт), равные сумме потерь на трение в подшипниках и потерь на вентиляцию (при самовентиляции машины).

Добавочные потери в синхронных машинах разделяются на два вида: пульсационные потери в полюсных наконечниках ротора и потери при нагрузке.

*Добавочные пульсационные потери*  $P_{\text{п}}$  в полюсных наконечниках ротора обусловлены пульсацией магнитной индукции в зазоре из-за зубчатости внутренней поверхности статора.

*Добавочные потери при нагрузке*  $P_{\text{доб}}$  в синхронных машинах определяют в процентах от подводимой мощности двигателей или от полезной мощности генераторов.

Суммарные потери в синхронной машине (кВт)



$$\Sigma P = P_{\text{эл}} + P_{\text{в}} + P_{\text{мл}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{п}} + P_{\text{доб}}$$

Коэффициент полезного действия: для синхронного генератора

$$\eta_g = 1 - \frac{\Sigma P}{P_{\text{ном}} + \Sigma P}$$

для синхронного двигателя

$$\eta_o = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1}$$

КПД синхронных машин мощностью до 100 кВт составляет 80...90%, у более мощных машин КПД достигает 92...99%.

**Задание 3.** Способы гашения электрической дуги.

**Задачи** дугогасительных устройств состоит в **обеспечении гашения** электрической дуги **за минимальное время** с допустимым уровнем перенапряжений, малом износе контактов, минимальном объеме распыленных газов, с минимальным звуковым и световым эффектами.

В первой зоне дуга гасится за счет механического растяжения. По мере растяжения контактов увеличивается длина дуги и ее сопротивление. Когда длина дуги постоянного тока будет равна критической, создаются условия для ее гашения. С ростом отключаемого тока увеличивается критическая длина дуги.

В зависимости от типа дугогасительной системы критические значения токов (зона неотключаемых токов) лежит в пределах от нескольких ампер до 100 А. При малых токах дуга гаснет за счет механического растягивания. При значительных токах появляются электродинамические силы, быстро выдувающие дугу из межконтактного промежутка. Дуга в этом случае гаснет под действием этих сил.

Критические условия, когда механизм гашения дуги с помощью механического ее растягивания сменяется другим – **электродинамическим воздействием** на дугу, соответствуют зоне критических токов.

В дугогасительных устройствах используются следующие принципы гашения электрической дуги:

- 1) механическое растяжение дуги;
- 2) узкая продольная щель (воздействие на ствол дуги);
- 3) узкая продольная щель в сочетании с магнитным дутьем;
- 4) дугогасительные решетки;
- 5) создание повышенного давления в среде горения дуги;
- 6) гашение в трансформаторном масле;
- 7) гашение в вакууме;

**Задание 4.** Решение:

- 1) Определим коэффициент трансформации

$$k = U_1/U_2 = 10000/400 = 25$$

- 2) Определим число витков

$$w_1 = k w_2 = 25 \cdot 32 = 800$$

- 3) Определим номинальный ток обмотки

$$I_{\text{ном1}} = S_{\text{ном}} / \sqrt{3} U_1 = 1600 / \sqrt{3} \cdot 10 = 92,5 \text{ А.}$$

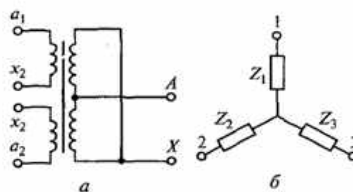
Экзаменационный билет № 12

**Задание 1.** Трехобмоточные трансформаторы.

Трехобмоточные трансформаторы применяют в основном в качестве понижающих трансформаторов мощностью до 100 МВ А с высшим напряжением до 220 кВ. Мощности обмоток высшего, среднего и низшего напряжений составляют соответственно 100/100/100, 100/100/67 и 100/67/100% от номинальной мощности трансформатора. Сумма нагрузок обмоток среднего и низшего напряжений не должна превышать номинальной мощности трансформатора.

Обмотки трехобмоточных трансформаторов размещают на стержнях концентрически в следующем порядке: обмотку высшего напряжения - снаружи; обмотку низшего напряжения - внутри, у стержня; обмотку среднего напряжения - между обмотками высшего и низшего

напряжений. При таком расположении напряжение КЗ между обмотками высшего и среднего напряжений имеет минимальное значение, что позволяет передать большую часть мощности в сеть среднего напряжения с минимальными потерями. Напряжение КЗ между обмотками высшего и низшего напряжений относительно велико, что способствует ограничению тока КЗ в сети низшего напряжения.



Размещение обмоток (а) и схема замещения (б) трехфазного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения

Разновидностью трехобмоточного трансформатора является трехфазный трансформатор с расщепленной обмоткой низшего напряжения. В таком трансформаторе обмотка низшего напряжения каждой фазы выполняется из двух частей (ветвей), расположенных симметрично по отношению к обмотке высшего напряжения. Номинальные напряжения ветвей обмотки одинаковы. Мощность каждой обмотки низшего напряжения составляет часть номинальной мощности трансформатора (при двух ветвях - 1/2, при трех ветвях - 1/3). В трехфазных трансформаторах обе части расщепленной обмотки размещены на общем стержне соответствующей фазы одна над другой, а в однофазных трансформаторах части обмотки размещены на разных стержнях. Каждая ветвь расщепленной обмотки имеет самостоятельные выводы. Допускается любое распределение нагрузки между ветвями расщепленной обмотки, например при двух ветвях одна ветвь может быть полностью нагружена, а вторая отключена, или обе ветви нагружены полностью.

Достоинством трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения является большое сопротивление короткого замыкания между ветвями, что дает возможность ограничить ток КЗ на стороне низшего напряжения, например на подстанциях.

### Задание 2. Назначение параллельной работы синхронных генераторов.

На электрических станциях обычно устанавливают несколько синхронных генераторов, включаемых параллельно для совместной работы. Наличие нескольких генераторов вместо одного суммарной мощности дает преимущества, объясняемые теми же соображениями, что и при параллельной работе трансформаторов.

При включении синхронного генератора в сеть на параллельную работу необходимо соблюдать следующие условия:

- ЭДС генератора  $E_0$  в момент подключения его к сети должна быть равна и противоположна по фазе напряжению сети ( $E_0 = -U_c$ );
- частота ЭДС генератора  $f_T$  должна быть равна частоте переменного напряжения в сети  $f_c$ ;
- порядок следования фаз на выводах генератора должен быть таким же, что и на зажимах сети.

Приведение генератора в состояние, удовлетворяющее всем указанным условиям, называют *синхронизацией*. Несоблюдение любого из условий синхронизации приводит к появлению в обмотке статора больших уравнивающих токов, чрезмерное значение которых может явиться причиной аварии.

Включить генератор в сеть с параллельно работающими генераторами можно или способом точной синхронизации, или способом самосинхронизации

Сущность способа точной синхронизации состоит в том, что, прежде чем включить генератор в сеть, его приводят в состояние, удовлетворяющее всем вышеперечисленным условиям. Момент соблюдения этих условий, т. е. момент синхронизации, определяют прибором, называемым *синхроноскопом*.



**Задание 3.** Функциональное назначение аппаратов управления, защиты и автоматики, их классификация.

Электрические аппараты служат для коммутации, сигнализации и защиты электрических сетей и электроприемников, а также управления электротехническими и технологическими установками и находят исключительно широкое применение в различных областях народного хозяйства: в электроэнергетике, в промышленности и транспорте, в аэрокосмических системах и оборонных отраслях, в телекоммуникациях, в коммунальном хозяйстве, в бытовой технике и т. д.

Исключительно широкий диапазон областей применения электрических аппаратов определяет многообразие видов их классификации.

Электрические аппараты классифицируют по признакам:

1) по величине рабочего напряжения - низковольтные (до 1000 В) и высоковольтные (более 1000 В);

2) по величине рабочего или коммутируемого тока - слаботочные (аппараты управления, защиты, сигнализации) и силовоточные, используемые в силовых цепях;

3) по выполняемой функции:

- коммутирующие аппараты: выключатели, разъединители, контакторы, магнитные пускатели;
- управления, защиты, сигнализации: реле различного типа, путевые и конечные выключатели (контактные и бесконтактные);
- командные: кнопки управления, ключи, командоконтроллеры и командоаппараты;
- аппараты защиты: разрядники, плавкие предохранители. К электрическим аппаратам относят также пускорегулировочные сопротивления.
- По признаку коммутации и элементной базы электрические аппараты разделяются на:
  - электромеханические;
  - статические;
  - гибридные.

Электромеханические аппараты отличаются наличием в них подвижных частей. Электромеханические аппараты имеют подвижную и неподвижную контактные системы, осуществляющие коммутацию электрических цепей.

Статические аппараты выполняются на основе силовых полупроводниковых приборов: диодов, тиристоров, транзисторов, а также управляемых электромагнитных устройств: магнитных усилителей, дросселей насыщения и др. Аппараты этого вида обычно относятся к силовым электронным устройствам, так как используются для управления потоками электрической энергии.

Гибридные электрические аппараты представляют собой комбинацию электромеханических и статических аппаратов.

По функциональному назначению различают:

- аппараты управления НН и ВН;
- аппараты распределительных устройств низкого напряжения;
- аппараты автоматики.

Электрические аппараты классифицируют также:

- по напряжению: аппараты НН - низкого (до 1000 В) и аппараты ВН - высокого (от единиц до тысяч киловольт) напряжения;
- по значению коммутируемого тока: слаботочные аппараты (до 5 А) и силовоточные (от 5 А до сотен кило-ампер);
- по роду тока: постоянного и переменного;
- по частоте источника питания: аппараты с нормальной (до 50 Гц) и аппараты с повышенной (от 400 Гц до 10 кГц) частотой;
- по роду выполняемых функций: коммутирующие, регулирующие, контролируемые, измеряющие, ограничивающие по току или напряжению, стабилизирующие;
- по исполнению коммутирующего органа: контактные и бесконтактные (статические), гибридные, синхронные, бездуговые.

#### Задание 4. Решение:

1) Определим КПД

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_x + P_k} = \frac{200}{200 + 7,8 + 5,6} = 0,937$$

#### Экзаменационный билет № 13

##### Задание 1. Принцип работы автотрансформаторов.

Автотрансформатор - это такой вид трансформатора, в котором помимо магнитной связи между обмотками имеется еще и электрическая связь. Обмотки обычного трансформатора можно включить по схеме автотрансформатора, для чего выход  $X$  обмотки  $w_{Ax}$  соединяют с выводом  $a$  обмотки  $w_{ax}$  (рисунок 1). Если выводы  $A_x$  подключить к сети, а к выводам  $ax$  подключить нагрузку  $Z_n$ , то получим понижающий автотрансформатор. Если же выводы  $ax$  подключить к сети, а к выводам  $A_x$  подключить нагрузку  $Z_n$ , то получим повышающий автотрансформатор.

Рассмотрим подробнее работу понижающего автотрансформатора. Обмотка  $w_{ax}$  одновременно является частью первичной обмотки и вторичной обмоткой. В этой обмотке проходит ток  $I_{12}$ . Для точки  $a$  запишем уравнение токов:  $I_2 = I_1 + I_{12}$ , или  $I_{12} = I_2 - I_1$ , т. е. по виткам  $w_1$  проходит ток  $I_{12}$ , равный разности вторичного  $I_2$  и первичного  $I_1$  токов. Если коэффициент трансформации автотрансформатора  $k_A = w_{Ax}/w_{ax}$ ; немногим больше единицы, то токи  $I_1$  и  $I_2$  мало отличаются друг от друга, а их разность составляет небольшую величину. Это позволяет выполнить витки  $w_c$  проводом уменьшенного сечения.

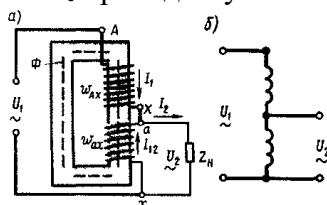


Рисунок 1 - Электромагнитная (а) и принципиальная (б) схемы однофазного понижающего авто трансформатора

Введем понятие *проходной мощности* автотрансформатора, представляющей собой всю передаваемую мощность  $S_{np} = U_2 I_2$  из первичной цепи во вторичную. Кроме того, различают еще расчетную мощность  $S_{расч}$ , представляющую собой мощность, передаваемую из первичной во вторичную цепь магнитным полем. Расчетной эту мощность называют потому, что размеры и вес трансформатора зависят от величины этой мощности. В трансформаторе вся проходная мощность является расчетной, так как между обмотками трансформатора существует лишь магнитная связь. В автотрансформаторе между первичной и вторичной цепями помимо **магнитной** связи существует еще и **электрическая**. Поэтому расчетная мощность составляет лишь часть проходной мощности, другая ее часть передается между цепями без участия магнитного поля.

##### *Достоинства.*

Средняя длина витка обмотки также становится меньше; следовательно, уменьшается расход меди на выполнение обмотки автотрансформатора. Одновременно уменьшаются магнитные и электрические потери, а КПД автотрансформатора повышается.

Таким образом, автотрансформатор по сравнению с трансформатором равной мощности обладает следующими преимуществами: меньшим расходом активных материалов (медь и электротехническая сталь), более высоким КПД, меньшими размерами и стоимостью. У автотрансформаторов большей мощности КПД достигает 99,7%.

##### Задание 2. Нагрузка генератора, включенного на параллельную работу.

При параллельной работе нескольких синхронных генераторов и каждом из них возникает некоторая сила, удерживающая генератор в состоянии устойчивой работы, т. е. предотвращающая выход этого генератора из синхронизма.

Другими словами, синхронный генератор, включенный на параллельную работу, обладает *синхронизирующей способностью*. Физический смысл синхронизирующей способности синхронных генераторов состоит в следующем. В процессе работы синхронного генератора в нем действуют два вращающихся магнитных поля: поле статора и поле ротора. Оба поля вращаются синхронно и создают в машине результирующее вращающееся магнитное поле. Так как обмотки статоров всех генераторов, включенных на параллельную работу, электрически связаны между собой, то также «связанными» оказываются и результирующие магнитные поля всех генераторов, которые вращаются с синхронной частотой вращения  $n_1$ .

Результирующее магнитное поле машины замыкается через сердечник ротора. Поэтому электрическая связь между обмотками статоров параллельно работающих машин в конечном итоге переходит в магнитную связь роторов этих машин, аналогичную эластичной механической связи, которая позволяет роторам смещаться относительно друг друга в пределах угла  $\theta < \theta_{кр}$ . При этом роторы продолжают вращаться с синхронной частотой вращения. Лишь при смещении ротора какой-либо из параллельно работающих машин на угол  $\theta$ , выходящий за указанные пределы, связь ротора этой машины с роторами других машин нарушается и машина выходит из синхронизма. Наибольшей синхронизирующей способностью синхронная машина обладает при  $\theta = 0$ . С ростом  $\theta$  синхронизирующая способность машины снижается и при  $\theta = \theta_{кр}$  совершенно исчезает. Синхронизирующей способностью обладают не только синхронные генераторы, но и синхронные двигатели.

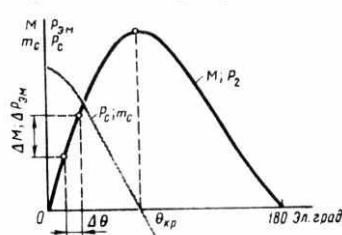


Рисунок 3 - Синхронизирующая способность синхронной машины.

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия магнитных пускателей.

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного управления электродвигателями и другими электроустановками. Они обеспечивают нулевую защиту, т.е. при исчезновении напряжения или его снижении до 50...60% от номинального катушка не удерживает магнитную систему пускателя, и силовые контакты размыкаются. При восстановлении напряжения токоприемник остается отключенным. Это исключает возможность аварий, связанных с самопроизвольным пуском электродвигателя или другой электроустановки. Пускатели с тепловыми реле осуществляют также защиту электроустановки от длительных перегрузок.

Наибольшее распространение получили магнитные пускатели серий ПМЕ и ПАЕ. Пускатели серии ПМЕ могут быть использованы для управления электродвигателями мощностью от 0,27 до 10 кВт, а пускатели серии ПАЕ - для управления электродвигателями и другими электроустановками мощностью от 4 до 75 кВт.

Изготавливаются эти серии в открытом, защищенном, пылеводозащищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнении на напряжение 220 и 380 В. Они могут быть реверсивными и нереверсивными. Реверсивные пускатели наряду с пуском, остановом и защитой электродвигателя изменяют направление его вращения.

В магнитные пускатели встраиваются тепловые реле ТРН (двухполюсные) и ТРП (однополюсные). Они срабатывают под влиянием протекающего по ним тока перегрузки электродвигателя и отключают его от сети. В каждый пускатель серии ПМЕ встраивается по одному двухфазному реле типа ТРН. В магнитный пускатель ПАЕ (нереверсивный и реверсивный) третьей величины встраивается по одному двухфазному реле ТРН, а в пускатели 4, 5 и 6 величин - по два тепловых реле типа ТРП. Катушка пускателя обеспечивает надежную работу при напряжении от 85 до 105% номинального.

Маркировка магнитных пускателей расшифровывается следующим образом: первая цифра после сочетания букв, указывающих тип пускателя, обозначает величину (1; 2; 3; 4; 5; 6), вторая - исполнение по роду защиты от окружающей среды (1 - открытое исполнение; 2 - защищенное; 3 - пылезащищенное; 4 - пылебрызгонепроницаемое), третья - исполнение (1 - нереверсивный без тепловой защиты; 2 - нереверсивный с тепловой защитой; 3 - реверсивный без тепловой защиты; 4 - реверсивный с тепловой защитой).

**Задание 4. Решение:**

1) Определим частоту вращения магнитного поля статора

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

2) Определим частоту вращения магнитного поля статора

$$n_2 = n_1 (1 - s_{ном}) = 1000(1 - 0,02) = 980 \text{ об/мин.}$$

3) Определим полезную мощность на валу двигателя

$$P_{ном2} = \frac{M_{ном2} n_{ном2}}{9,55} = \frac{39,2 \cdot 980}{9550} = 4,022 \text{ кВт}$$

2) Определим КПД

$$\eta = P_2 / P_1 = 4,022 / 5,6 = 0,72$$

3) Определим коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} I_1 U_{ном}} = \frac{5,6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,38} = 0,85$$

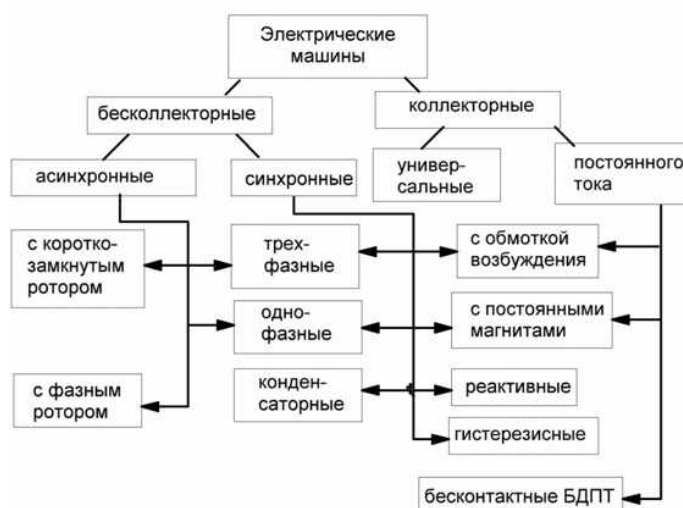
**Экзаменационный билет № 14**

**Задание 1. Электрические машины как электромеханические преобразователи энергии.**

Классификация электрических машин.

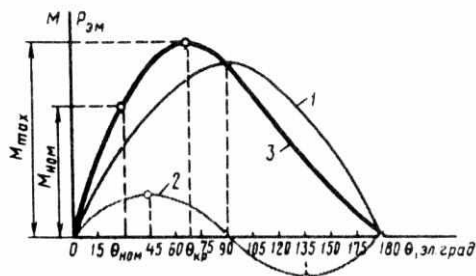
**Электрическая машина** представляет собой электромеханическое устройство, осуществляющее взаимное преобразование механической и электрической энергии. Электрическая энергия вырабатывается на электростанциях электрическими машинами - **генераторами**, преобразующими механическую энергию в электрическую. Основная часть электроэнергии (до 80 %) вырабатывается на тепловых электростанциях, где при сжигании химического топлива (уголь, торф, газ) нагревается вода и переводится в пар высокого давления. Последний подается в турбину, где, расширяясь, приводит ротор турбины во вращение (тепловая энергия в турбине преобразуется в механическую). Вращение ротора турбины передается на вал генератора (турбогенератора). В результате электромагнитных процессов, происходящих в генераторе, механическая энергия преобразуется в электрическую.

В процессе потребления электрической энергии происходит ее преобразование в другие виды энергий (тепловую, механическую, химическую). Около 70 % электроэнергии используется для приведения в движение станков, механизмов, транспортных средств, т. е. для преобразования ее в механическую энергию. Это преобразование осуществляется электрическими машинами - **электродвигателями**.



## Задание 2. Угловые характеристики синхронного генератора.

При увеличении нагрузки синхронного генератора, т. е. с ростом тока  $I_l$  происходит увеличение угла  $\theta$ , на который продольная ось ротора смещена относительно продольной оси результирующего поля машины, что ведет к изменению электромагнитной мощности генератора и его электромагнитного момента. Зависимости  $P_{ЭМ} = f(\theta)$  и  $M = f(\theta)$ , представленные графически, называются *угловыми характеристиками синхронной машины*.



Угловая характеристика синхронного генератора

Как видно из результирующей угловой характеристики (график 3), при увеличении нагрузки синхронной машины до значений, соответствующих углу  $\theta \leq \theta_{кр}$ , синхронная машина работает устойчиво. Объясняется это тем, что при  $\theta \leq \theta_{кр}$ , рост нагрузки генератора (увеличение  $\theta$ ) сопровождается увеличением электромагнитного момента. В этом случае любой установившейся нагрузке соответствует равенство вращающего момента первичного двигателя  $M_1$  сумме противодействующих моментов, т. е.  $M_1 = M_я + M_0$ . В результате частота вращения ротора остается неизменной, равной синхронной частоте вращения.

При нагрузке, соответствующей углу  $\theta > \theta_{кр}$  электромагнитный момент  $M_я$ , уменьшается, что ведет к нарушению равенства вращающего и противодействующих моментов. При этом избыточная (неуравновешенная) часть вращающего момента первичного двигателя  $\Delta M = M_1 - (M_я + M_0)$  вызывает увеличение частоты вращения ротора, что ведет к нарушению условий синхронизации (машина выходит из синхронизма).

Электромагнитный момент, соответствующий критическому значению угла  $\theta_{кр}$ , является максимальным  $M_{max}$ .

Отношение максимального электромагнитного момента  $M_{max}$  к номинальному  $M_{ном}$  называется *перегрузочной способностью синхронной машины или коэффициентом статической перегрузаемости*:

$$\lambda = M_{max} / M_{ном} = 1,4 \div 3$$

## Задание 3. Схема и характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

Схема включения в сеть двигателя параллельного возбуждения показана на рис. 1, а. Характерной особенностью этого двигателя является то, что ток в обмотке возбуждения (ОВ) не зависит от тока нагрузки (тока якоря). Реостат в цепи возбуждения  $r_{рг}$  служит для регулирования тока в обмотке возбуждения и магнитного потока главных полюсов.

Эксплуатационные свойства двигателя определяются его *рабочими характеристиками*, под которыми понимают зависимость частоты вращения  $n$ , тока  $I$ , полезного момента  $M_2$ , вращающего момента  $M$  от мощности на валу двигателя  $P_2$  при  $U = const$  и  $I_B = const$  (рис. 1, б).

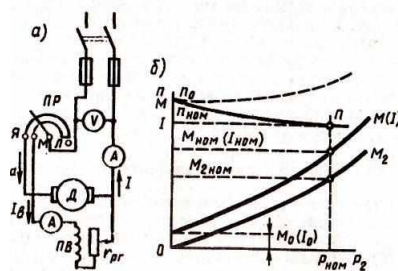
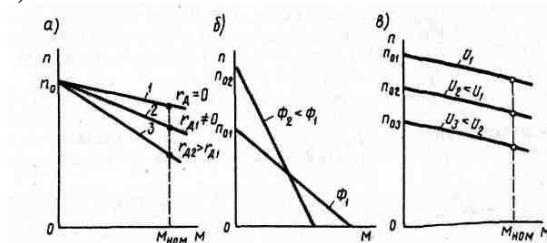


Рисунок 1- Схема двигателя параллельного возбуждения (а) и его рабочие характеристики (б)

Механической характеристики называется зависимость частоты вращения двигателя от момента  $n = f(M)$ .

Если пренебречь реакцией якоря, то (так как  $I_B = \text{const}$ ) можно принять  $\Phi = \text{const}$ . Тогда механическая характеристика двигателя параллельного возбуждения представляет собой прямую линию, несколько наклоненную к оси абсцисс (рис. 2, а). Угол наклона механической характеристики тем больше, чем больше значение сопротивления, включенного в цепь якоря. Механическую характеристику двигателя при отсутствии дополнительного сопротивления в цепи якоря называют *естественной* (прямая 1). Механические характеристики двигателя, полученные при введении дополнительного сопротивления в цепь якоря, называют *искусственными* (прямые 2 и 3).



Механические характеристики двигателя параллельного возбуждения: а - при введении в цепь якоря добавочного сопротивления; б - при изменении основного магнитного потока; в - при изменении напряжения в цепи якоря

Вид механической характеристики зависит также и от значения основного магнитного потока  $\Phi$ . Так, при уменьшении  $\Phi$  увеличивается частота вращения х.х.  $n_0$  и одновременно увеличивается  $\Delta n$ , т. е. увеличиваются оба слагаемых уравнения  $n = n_0 - \Delta n$ . Это приводит к резкому увеличению наклона механической характеристики, т. е. к уменьшению ее жесткости (рис. 2, б).

При изменении напряжения на якоре  $U$  меняется частота вращения  $n_0$ , а  $\Delta n$  остается неизменной. В итоге жесткость механической характеристики не меняется, т.е. характеристики смещаются по высоте, оставаясь параллельными друг другу.

**Задание 4. Решение:**

1) Определим полезную мощность

$$P_1 = P_2 / \eta = 45000 / 0,86 = 52325 \text{ Вт}$$

2) Определим частоту вращения

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{5} = 600 \text{ об / мин}$$

3) Определим скольжение

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{600 - 574}{600} = 0,043$$

4) Определим номинальный момент

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{45000}{574} = 748,6 \text{ Нм}$$

#### Экзаменационный билет № 15

**Задание 1.** Назначение и принцип действия синхронного генератора.

Синхронная машина состоит из неподвижной части - статора и вращающейся части - ротора. Статоры синхронных машин в принципе не отличаются от статоров асинхронных двигателей, т.е. состоят из корпуса, сердечника и обмотки).

Конструктивное исполнение статора синхронной машины может быть различным в зависимости от назначения и габаритов машины.

Роторы синхронных машин могут иметь две принципиально различающиеся конструкции: *явнополюсную* и *неявнополюсную*.

В энергетических установках по производству электроэнергии переменного тока в качестве первичных (приводных) двигателей и синхронных генераторов применяют в основном

три вида двигателей: паровые турбины, гидравлические турбины либо двигателя внутреннего сгорания (дизели). Применение любого из двигателей принципиально влияет на конструкцию синхронного генератора.

Если приводным двигателем является *гидравлическая турбина*, то синхронный генератор называют гидрогенератором. Гидравлическая турбина обычно развивает небольшую частоту вращения (60-500 об/мин), поэтому для получения переменного тока промышленной частоты (50 Гц) в гидрогенераторе применяют ротор с большим числом полюсов. Роторы гидрогенераторов имеют *явнополюсную конструкцию*, т. е. с явно выраженными полюсами, при которой каждый полюс выполняют в виде отдельного узла, состоящего из сердечника 1, полюсного наконечника 2 и полюсной катушки 3 (рис. 19.3, а). Все полюсы ротора закреплены на ободе 4, являющемся также и ярмом магнитной системы машины, в котором замыкаются потоки полюсов.

*Паровая турбина* работает при большой частоте вращения, поэтому приводимый ею во вращение генератор, называемый турбогенератором, является быстроходной синхронной машиной. Роторы этих генераторов выполняют либо двухполюсными ( $n_1 = 3000$  об/мин), либо четырехполюсными ( $n_1 = 1500$  об/мин).

В процессе работы турбогенератора на его ротор действуют значительные центробежные силы. Поэтому по условиям механической прочности в турбогенераторах применяют *неявнополюсный ротор*, имеющий вид удлиненного стального цилиндра с продольными пазами для обмотки возбуждения. Сердечник неявнополюсного ротора изготовляют в виде цельной стальной поковки вместе с хвостовиками (концами вала) или же делают сборным. Обмотка возбуждения неявнополюсного ротора занимает лишь  $\frac{2}{3}$  его поверхности (по периметру). Оставшаяся  $\frac{1}{3}$  поверхности образует полюсы. Для защиты лобовых частей обмотки ротора от разрушения действием центробежных сил ротор с двух сторон прикрывают стальными бандажными кольцами (каппами), изготовляемыми обычно из немагнитной стали.

Большую группу синхронных машин составляют *синхронные двигатели*, которые обычно изготовляются мощностью до нескольких тысяч киловатт и предназначены для привода мощных вентиляторов, мельниц, насосов и других устройств, не требующих регулирования частоты вращения.

**Задание 2.** Колебание ротора синхронного двигателя и способы их уменьшения.

При изменениях нагрузки на валу синхронного двигателя меняется угол  $\theta$ . При этом ротор вследствие инерции вращающихся масс агрегата не сразу занимает положения, соответствующие новой нагрузке, а некоторое время совершает *колебательные движения*. Таким образом, в синхронном двигателе, так же как и в генераторе, имеют место колебания.

По своей конструкции синхронные двигатели в принципе не отличаются от синхронных генераторов, но все же имеют некоторые особенности. Их изготовляют преимущественно явнополюсными с  $2p = 6 \div 24$  полюсов; воздушный зазор делают меньшим, чем в генераторах такой же мощности, что способствует улучшению ряда параметров двигателя, в частности уменьшению пускового тока; демпферную (успокоительную) обмотку выполняют стержнями большего сечения, так как при пуске двигателя она является пусковой обмоткой; ширина полюсного наконечника достигает 0,9 т вместо 0,7 т в генераторах. Поэтому, несмотря на свойство обратимости, синхронные машины, выпускаемые промышленностью, имеют обычно целевое назначение - либо это синхронные генераторы, либо синхронные двигатели.

Существует три способа снижения уровня поперечных вибраций ротора:

- 1) уравнивание ротора (балансировка);
- 2) отстройка от опасных резонансных режимов (частотная отстройка)
- 3) введение в конструкцию опор специальных гасителей колебаний (демпферов).

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия контакторов.

**Контакторы** – это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

Электромагнитный контактор представляет собой электрический аппарат, предназначенный для коммутации силовых электрических цепей. Замыкание или размыкание контактов контактора осуществляется чаще всего с помощью электромагнитного привода.

Общепромышленные контакторы классифицируются:

- по роду тока главной цепи и цепи управления (включающей катушки) - постоянного, переменного, постоянного и переменного тока;
- по числу главных полюсов - от 1 до 5;
- по номинальному току главной цепи - от 1,5 до 4800 А;
- по номинальному напряжению главной цепи: от 27 до 2000 В постоянного тока; от 110 до 1600 В переменного тока частотой 50, 60, 500, 1000, 2400, 8000, 10 000 Гц;
- по номинальному напряжению включающей катушки: от 12 до 440 В постоянного тока, от 12 до 660 В переменного тока частотой 50 Гц, от 24 до 660 В переменного тока частотой 60 Гц;
- по наличию вспомогательных контактов - с контактами, без контактов.

Контакторы также различаются по роду присоединения проводников главной цепи и цепи управления, способу монтажа, виду присоединения внешних проводников и т.п.

Контактор состоит из следующих основных узлов: главных контактов, дугогасительной системы, электромагнитной системы, вспомогательных контактов.

**Задание 4. Решение:**

- 1) Определим ЭДС, наводимую в обмотке якоря

$$E = c_E \cdot n \cdot \Phi = 10 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 200 \text{ В.}$$

### Экзаменационный билет № 16

**Задание 1.** Принцип действия асинхронного двигателя.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на использовании вращающегося магнитного поля и основных законов электротехники,

При включении двигателя в сеть трехфазного тока в статоре образуется вращающееся магнитное поле, силовые линии которого пересекают стержни или катушки обмотки ротора. При этом, согласно закону электромагнитной индукции, в обмотке ротора индуцируется ЭДС, пропорциональная частоте пересечения силовых линий. Под действием индуцированной ЭДС в короткозамкнутом роторе возникают значительные токи.

В соответствии с законом Ампера на проводники с током, находящиеся в магнитном поле, действуют механические силы, которые будут раскручивать ротор в направлении вращения поля.

Достичь частоты вращения поля в реальных условиях ротор не может, так как тогда стержни его обмотки оказались бы неподвижными относительно магнитных силовых линий и индуцированные токи в обмотке ротора исчезли бы. Поэтому ротор вращается с частотой, меньшей частоты вращения поля, т. е. несинхронно с полем, или асинхронно.

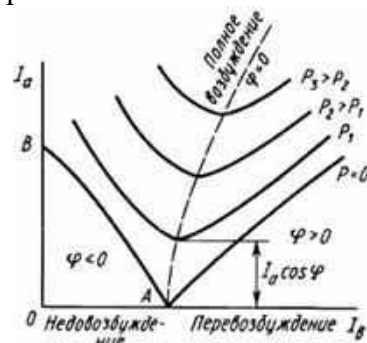
Если силы, тормозящие вращение ротора, невелики, то ротор достигает частоты, близкой к частоте вращения поля. При увеличении механической нагрузки на валу двигателя частота вращения ротора уменьшается, токи в обмотке ротора увеличиваются, что приводит к увеличению вращающего момента двигателя. При некоторой частоте вращения ротора устанавливается равновесие между тормозным и вращающим моментами.

**Задание 2.** U –образные характеристики синхронного генератора.

Зависимость тока якоря от тока возбуждения, называемая U-образной характеристикой. Для каждой мощности имеется вполне определенный ток возбуждения, которому соответствует минимум тока якоря. Чем больше мощность, тем больше ток возбуждения, соответствующий минимальному току якоря. Штриховая кривая, проведенная через минимумы токов, соответствует режимам работы генератора с  $\cos \varphi = 1$ .

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия автоматических выключателей.

**Автоматический выключатель** - это контактный коммутационный прибор (электротехническое или электроустановочное устройство), предназначенный для включения, проведения и отключения электрических токов при





нормальном состоянии электрической цепи, а также отключения электрического тока в определённом аномальном состоянии цепи.

Автоматические выключатели выполняют одновременно функции защиты и

Механизм расцепления приводится в действие одним из двух расцепителей: тепловым или магнитным.

**Тепловой расцепитель** представляет собой биметаллическую пластину (5), нагреваемую протекающим током. При протекании тока выше допустимого значения биметаллическая пластина изгибается и приводит в действие механизм расцепления. Время срабатывания зависит от тока (времятоковая характеристика) и может изменяться от секунд до часа. Минимальный ток, при котором должен срабатывать тепловой расцепитель, составляет 1,45 от номинального тока предохранителя. Настройка тока срабатывания производится в процессе изготовления регулировочным винтом (6). В отличие от плавкого предохранителя, автоматический предохранитель готов к следующему использованию после остывания пластины.

**Магнитный (мгновенный) расцепитель** представляет собой соленоид (7), подвижный сердечник которого также может приводить в действие механизм расцепления. Ток, проходящий через предохранитель, течет по обмотке соленоида и вызывает втягивание сердечника при превышении заданного порога. Мгновенный расцепитель, в отличие от теплового, срабатывает очень быстро (доли секунды), но при значительно большем превышении тока: в 2÷10 раз от номинала, в зависимости от типа (автоматические выключатели делятся на типы А, В, С и D в зависимости от чувствительности мгновенного расцепителя).

Во время расцепления контактов может возникнуть электрическая дуга, поэтому контакты имеют особую форму и находятся в дугогасительной камере (8).

#### Классификация

ГОСТ 9098-78 - устанавливает следующую классификацию автоматических выключателей

- 1) По роду тока главной цепи: постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного тока.
- 2) По числу полюсов главной цепи: однополюсные; двухполюсные; трехполюсные; четырехполюсные.
- 3) По наличию токоограничения: токоограничивающие; нетокоограничивающие.
- 4) По видам расцепителей: с максимальным расцепителем тока; с независимым расцепителем; с минимальным или нулевым расцепителем напряжения.
- 5) По характеристике выдержки времени максимальных расцепителей тока: без выдержки времени; с выдержкой времени, независимой от тока; с выдержкой времени, обратно зависимой от тока; с сочетанием указанных характеристик.
- 6) По наличию свободных контактов («блок-контактов» для вторичных цепей): с контактами; без контактов.
- 7) По способу присоединения внешних проводников: с задним присоединением; с передним присоединением; с комбинированным присоединением (верхние зажимы с задним присоединением, а нижние — с передним присоединением или наоборот); с универсальным присоединением (передним и задним).
- 8) По виду привода: с ручным; с двигательным; с пружинным.
- 9) По наличию и степени защиты выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с находящимися под напряжением частями выключателя и его движущимися частями, расположенными внутри оболочки в соответствии с требованиями ГОСТ 14255.

#### Задание 4. Решение:

- 1) Определим КПД

$$\eta = P_2/P_1 = 1,5/1,875 = 0,8$$

- 2) Определим коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}I_d U_{ном}} = \frac{1875}{\sqrt{3}\sqrt{3} \cdot 3,5 \cdot 220} = 0,81$$

**Задание 1.** Основные типы обмоток статора безколлекторных машин.

На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых располагаются проводники обмотки статора. Обмотка статора выполняется из медных обмоточных проводов круглого или прямоугольного сечения.

Требования к обмотке статора в основном сводятся к следующему: а) наименьший расход обмоточной меди; б) удобство и минимальные затраты на изготовление - технологичность; в) форма кривой ЭДС, наводимой в обмотке статора, должна быть практически синусоидальной.

Многофазная обмотка статора состоит из  $m_1$  - фазных обмоток. Например, трехфазная обмотка ( $m_1 = 3$ ) состоит из трех фазных обмоток, каждая из которых занимает  $Z_1/3$  пазов, где  $Z_1$  - общее число пазов сердечника статора. Каждая фазная обмотка представляет собой разомкнутую систему проводников. Элементом обмотки является катушка, состоящая из одного или нескольких витков. Элементы катушки, располагаемые в пазах, называют пазовыми сторонами 1, а элементы, расположенные вне пазов и служащие для соединения пазовых сторон, называют лобовыми частями. Часть дуги внутренней расточки статора, приходящаяся на один полюс, называется полюсным делением ( $\tau$ ):

$$\tau = pD_1/(2p),$$

где  $D_1$  - внутренний диаметр статора, м;  $2p$  - число полюсов.

Расстояние между пазовыми сторонами катушки, измеренное по внутренней поверхности статора, называется шагом обмотки по пазам  $y_1$ . Шаг обмотки выражают в пазах. Шаг обмотки называется полным или диаметральной, если он равен полюсному делению:

$$y_1 = Z_1/(2p) = \tau$$

В этом случае ЭДС витка определяется арифметической суммой ЭДС, наведенных в сторонах этого витка

$$e = e_1 + e_2.$$

Если же шаг обмотки меньше полюсного деления ( $y_1 < \tau$ ), то он называется укороченным. У катушки с укороченным шагом ЭДС меньше, чем у катушки с полным шагом.

Простейшая трехфазная обмотка статора двухполюсной машины состоит из трех катушек (А, В, С), оси которых смещены в пространстве относительно друг друга на 120 эл. град, т. е. на полюсного деления. Такая обмотка называется сосредоточенной. Каждая катушка здесь представляет собой фазную обмотку.

По расположению катушек в пазах и размещению их лобовых частей различают однослойные, двухслойные (в том числе концентрические), одно-двухслойные обмотки.

По форме катушек двухслойные обмотки подразделяются на *петлевые* и *волновые*. В петлевой обмотке при обходе каждой фазы совершается движение петлеобразной формы, а в волновой обмотке при обходе фазы - движение волнообразной формы.

**Задание 2.** Принцип действия синхронного двигателя.

Синхронный двигатель может работать в качестве генератора и двигателя. Синхронный двигатель выполнен так же, как и синхронный генератор. Его обмотка якоря 1 (рис. 1, а) подключена к источнику трехфазного переменного тока; в обмотку возбуждения 2 подается от постороннего источника постоянный ток. Благодаря взаимодействию вращающегося магнитного поля 4, созданного трехфазной обмоткой якоря, и поля, созданного обмоткой возбуждения, возникает электромагнитный момент  $M$  (рис. 1,б), приводящий ротор 3 во вращение. Однако в синхронном двигателе в отличие от асинхронного ротор будет разгоняться до частоты вращения  $n = n_1$ , с которой вращается магнитное поле (до синхронной частоты вращения). Объясняется это тем, что ток в обмотку ротора подается от постороннего источника, а не индуцируется в нем магнитным полем статора и, следовательно, не зависит от частоты вращения вала двигателя. Характерной особенностью синхронного двигателя является постоянная частота вращения его ротора независимо от нагрузки.

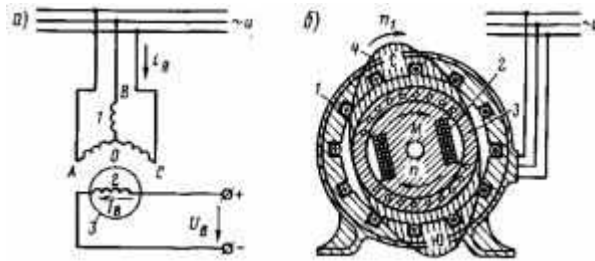


Рисунок 1 - Электрическая (а) и электромагнитная (б) схемы синхронного электродвигателя

### Задание 3. Классификация реле.

По начальному состоянию контактов выделяются реле с:

- Нормально замкнутыми контактами;
- Нормально разомкнутыми контактами;
- Переключающимися контактами (2 устойчивых положения).

По типу управляющего тока выделяются реле:

- Постоянного тока;

Нейтральные реле: полярность управляющего сигнала не имеет значения, регистрируется только факт его присутствия/отсутствия. Пример: реле типа НМШ

Поляризованные реле: чувствительны к полярности управляющего напряжения, переключаются при её смене. Пример: реле типа КШ

Комбинированные реле: реагируют как на наличие/отсутствие управляющего сигнала, так и на его полярность. Пример: реле типа КМШ

- Переменного тока.

По дополнительной механике и количеству управляемых контактов:

- Электромеханический счётчик с предустановкой
- Шаговой искатель

По напряжению и величине управляющего тока

- Маломощные реле
- Реле средней мощности
- Мощные реле

По задержке срабатывания

- Без предустановленной задержки (срабатывают так быстро, как могут)
- С задержкой (имеют специальную короткозамкнутую обмотку из 1 витка толстой медной шины)
- «Реле времени» (снабжены механическими узлами, позволяющими обеспечить очень высокую задержку - до десятков минут)

По типу исполнения

- Электромеханические реле
- Электромагнитные реле (обмотка электромагнита неподвижна относительно сердечника)
- Магнитоэлектрические реле (обмотка электромагнита с контактами подвижна относительно сердечника)
- Индукционные реле
- Полупроводниковые реле
- Термореле (биметаллическое)

По контролируемой величине

- Реле напряжения
- Реле тока
- Реле мощности
- Реле направления мощности
- Реле сопротивления
- Фотореле (срабатывают от величины освещенности)
- Дифференциальные реле

#### Задание 4. Решение:

- 1) Определим число полюсов двигателя

$$p = \frac{60E}{70n\Phi} = \frac{60 \cdot 210}{70 \cdot 1500 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 4$$

#### Экзаменационный билет № 18

##### Задание 1. Режимы работы асинхронной машины.

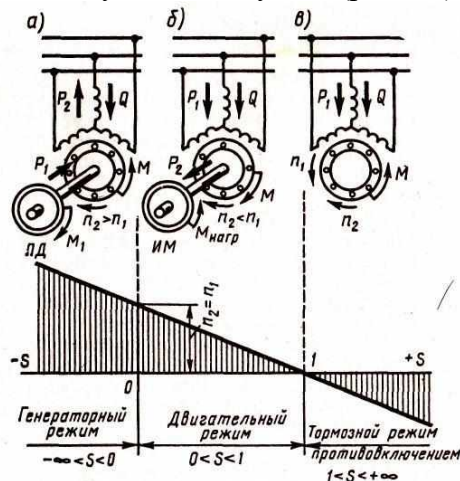
В соответствии с принципом обратимости электрических машин они могут работать в *двигательном, генераторном режимах и режиме электромагнитного торможения противовключением.*

##### *Двигательный режим.*

При включении обмотки статора в сеть трехфазного тока возникает вращающееся магнитное поле, которое, сцепляясь с короткозамкнутой обмоткой ротора, наводит в ней ЭДС. Частоту вращения магнитного поля обозначим  $n_1$ .

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

При этом в стержнях обмотки ротора появляются токи. В результате взаимодействия этих токов с вращающимся магнитным полем на роторе возникают электромагнитные силы. Совокупность этих сил создает электромагнитный вращающий момент, под действием которого ротор асинхронного двигателя приходит во вращение с частотой  $n_2$  в сторону вращения поля статора. Если вал асинхронного двигателя механически соединить с валом какого-либо исполнительного механизма *ИМ* (станка, подъемного крана и т. п.), то вращающий момент двигателя  $M$ , преодолев противодействующий (нагрузочный) момент  $M_{\text{нагр}}$  исполнительного механизма, приведет механизм во вращение. Следовательно, электрическая мощность  $P_1$ , поступающая в двигатель из сети, в основной своей части преобразуется в механическую мощность  $P_2$  и передается исполнительному механизму *ИМ* (рис. 1, б).



Было установлено, что  $n_2 < n_1$ . Частоту вращения магнитного поля относительно ротора, т. е. разность  $n_1 - n_2$ , называют *скольжением*. Обычно скольжение выражают в долях частоты вращения поля и обозначают буквой  $s$ :

$$s = (n_1 - n_2)/n_1$$

Скольжение зависит от нагрузки двигателя. При номинальной нагрузке его значение составляет около 0,05 у машин небольшой мощности и около 0,02 у мощных машин.

С увеличением нагрузочного момента на валу асинхронного двигателя частота вращения ротора  $n_2$  уменьшается. Следовательно, скольжение асинхронного двигателя зависит от механической нагрузки на валу двигателя и может изменяться в диапазоне  $0 < s < 1$ .

При включении асинхронного двигателя в сеть в начальный момент времени ротор под влиянием сил инерции неподвижен ( $n_2 = 0$ ). При этом скольжение  $s$  равно единице. В режиме работы двигателя без нагрузки на валу (режим холостого хода) ротор вращается с частотой лишь немного меньшей синхронной частоты вращения  $n_1$  и скольжение весьма мало отличается от нуля ( $s \approx 0$ ). Скольжение, соответствующее номинальной нагрузке двигателя, называют *номинальным скольжением*  $s_{\text{ном}}$ .

Из последнего равенства находим, что

$$n_2 = (1 - s)n_1$$

Скольжение является одной из важнейших характеристик двигателя; через него выражаются ЭДС и ток ротора, вращающий момент, частота вращения ротора.

*Генераторный режим.*

Если обмотку статора включить в сеть, а ротор асинхронной машины посредством приводного двигателя ПД (двигатель внутреннего сгорания, турбина и т. п.), являющегося источником механической энергии, вращать в направлении вращения магнитного поля статора с частотой  $n_2 > n_1$ , то направление движения ротора относительно поля статора изменится на обратное (по сравнению с двигательным режимом работы этой машины), так как ротор будет обгонять поле статора. При этом скольжение станет отрицательным, а ЭДС, наведенная в обмотке ротора, изменит свое направление. Электромагнитный момент на роторе  $M$  также изменит свое направление, т. е. будет направлен встречно вращающемуся магнитному полю статора и станет тормозящим по отношению к вращающемуся моменту приводного двигателя  $M_1$  (рис. 1, а). В этом случае механическая мощность приводного двигателя в основной своей части будет преобразована в электрическую активную мощность  $P_2$  переменного тока. Особенность работы асинхронного генератора состоит в том, что вращающееся магнитное поле в нем создается реактивной мощностью  $Q$  трехфазной сети, в которую включен генератор и куда он отдает вырабатываемую активную мощность  $P_2$ . Следовательно, для работы асинхронного генератора необходим источник переменного тока, при подключении к которому происходит возбуждение генератора, т. е. в нем возбуждается вращающееся магнитное поле.

Скольжение асинхронной машины в генераторном режиме может изменяться в диапазоне  $-\infty < s < 0$ , т. е. оно может принимать любые отрицательные значения.

*Режим торможения противовключением.*

Если у работающего трехфазного асинхронного двигателя поменять местами любую пару подходящих к статору из сети присоединительных проводов, то вращающееся поле статора изменит направление вращения на обратное. При этом ротор асинхронной машины под действием сил инерции будет продолжать вращение в прежнем направлении. Другими словами, ротор и поле статора асинхронной машины будут вращаться в противоположных направлениях. В этих условиях электромагнитный момент машины, направленный в сторону вращения поля статора, будет оказывать на ротор тормозящее действие (рис. 1, в). Этот режим работы асинхронной машины называется *электромагнитным торможением противовключением*. Активная мощность, поступающая из сети в машину при этом режиме, частично затрачивается на компенсацию механической мощности вращающегося ротора, т. е. на его торможение.

В режиме электромагнитного торможения частота вращения ротора является отрицательной, а поэтому скольжение приобретает положительные значения больше единицы.

Скольжение асинхронной машины в режиме торможения противовключением может изменяться в диапазоне  $1 < s < \infty$ , т. е. оно может принимать любые положительные значения больше единицы.

**Задание 2.** Способы пуска синхронных двигателей.

- Пуск синхронного двигателя при помощи вспомогательного двигателя. Синхронный двигатель механически соединяется с другим двигателем. Это может быть либо 3-х фазный индукционный двигатель, либо двигатель постоянного тока. Постоянный ток изначально не подается. Двигатель начинает вращаться со скоростью, близкой к синхронной скорости, после чего подается постоянный ток. После того, как магнитное поле замыкается, связь со вспомогательного двигателя прекращается.

- Асинхронный пуск. В полюсных наконечниках полюсов ротора устанавливается дополнительная короткозамкнутая обмотка. При включении напряжения в обмотку статора возникает вращающееся магнитное поле. Пересекая короткозамкнутую обмотку, которая заложена в полюсных наконечниках ротора, это вращающееся магнитное поле индуцирует в ней токи, который взаимодействуя с вращающимся полем статора, приводят ротор во вращение. Когда достигнута синхронная скорость, ЭДС и крутящийся момент уменьшается. И наконец, когда магнитное поле замыкается, крутящийся момент также сводится к нулю. Таким образом,

синхронность вначале запускается индукционным двигателем с использованием дополнительной обмотки.

**Задание 3.** Применение реле в схемах управления, защиты и автоматики.

**Реле** - электромагнитный аппарат (переключатель), предназначенный для коммутации электрических цепей (скачкообразного изменения выходных величин) при заданных изменениях электрических или не электрических входных величин. Широко используется в различных автоматических устройствах. Различают электрические, пневматические, механические виды реле, но наибольшее распространение получили электрические (электромагнитные) реле.

Основные части реле: электромагнит, якорь и переключатель. Электромагнит представляет собой электрический провод, намотанный на катушку с сердечником из магнитного материала. Якорь - пластина из магнитного материала, через толкатель управляющая контактами. При пропускании электрического тока через обмотку электромагнита возникающее магнитное поле притягивает к сердечнику якорь, который через толкатель смещает и тем самым переключает контакты. Переключатели могут быть замыкающими, размыкающими, переключающими.

Электромагнитное реле выполняет следующие функции:

- гальваническая развязка между цепью управления реле и цепью нагрузки реле;
- размножение одного управляющего сигнала на несколько выходных сигналов;
- усиление мощности управляющего сигнала;
- независимое управление несколькими выходными цепями с различными уровнями тока и напряжения (различными мощностями);
- разделение цепей с различными уровнями рабочих токов и напряжений, а также цепей переменного и постоянного тока;
- преобразование и нормирование уровней электрических сигналов.

**Задание 4.** Трехфазный асинхронный двигатель потребляет из сети мощность  $P_1 = 9,55$  кВт при токе  $I_1 = 36,36$  А и напряжение  $U_{ном} = 220$  В. Определить коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и КПД, если полезная мощность на валу  $P_{2ном} = 7,5$  кВт?

Решение:

1) Определим КПД

$$\eta = P_2/P_1 = 7,5/9,55 = 0,78$$

2) Определим коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}I_d U_{ном}} = \frac{9,55}{\sqrt{3} \cdot 36,36 \cdot 0,22} = 0,69$$

### Экзаменационный билет № 19

**Задание 1.** Устройство асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

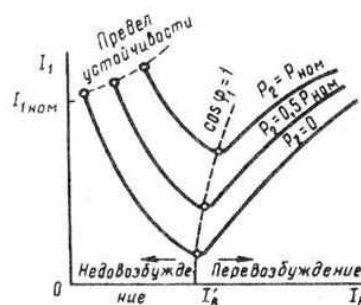
В расточке статора расположена вращающаяся часть двигателя ротор, состоящий из вала и сердечника с короткозамкнутой обмоткой. Такая обмотка, называемая «беличье колесо», представляет собой ряд металлических, алюминиевых или медных стержней, расположенных в пазах сердечника ротора, замкнутых с двух сторон коротко замыкающими кольцами. Сердечник ротора также имеет шихтованную конструкцию, но листы ротора не покрыты изоляционным лаком, а имеют на своей поверхности тонкую пленку окисла. Это является достаточной изоляцией, ограничивающей вихревые токи, так как величина их невелика из-за малой частоты перемагничивания сердечника ротора. Например, при частоте сети 50 Гц и номинальном скольжении 6 % частота перемагничивания сердечника ротора составляет 3 Гц. Короткозамкнутая обмотка ротора в большинстве двигателей выполняется заливкой собранного сердечника ротора расплавленным алюминиевым сплавом. При этом одновременно со стержнями обмотки отливаются короткозамыкающие кольца и вентиляционные лопатки Вал ротора вращается в подшипниках качения, расположенных в подшипниковых щитах. Концы обмоток фаз выводят на зажимы коробки выводов. Обычно асинхронные двигатели предназначены для включения в трехфазную сеть на два разных напряжения, отличающиеся в раз. Например, двигатель рассчитан для включения в сеть на напряжения 380/660 В. Если в сети линейное напряжение 660 В, то обмотку статора следует соединить звездой, а если 380 В, то

треугольником. В обоих случаях напряжение на обмотке каждой фазы будет 380В. Выводы обмоток фаз располагают на панели таким образом, чтобы соединения обмоток фаз было удобно выполнять посредством переключателей, без перекрещивания последних. В некоторых двигателях небольшой мощности в коробке выводов имеется лишь три зажима. В этом случае двигатель может быть включен в сеть на одно напряжение (соединение обмотки статора такого двигателя звездой или треугольником выполнено внутри двигателя).

**Задание 2.** U-образные и рабочие характеристики синхронного двигателя.

Увеличение тока возбуждения сверх значения  $I'_B$ , т. е. перевозбуждение двигателя, вызовет увеличение тока  $I_1$ , но этот ток будет опережающим (емкостным) по отношению к напряжению  $U_c$ . Таким образом, при *недовозбуждении* ( $I_B < I'_B$ ) синхронный двигатель работает с отстающим током, а при *перевозбуждении* ( $I_B > I'_B$ ) - с опережающим. Зависимость тока статора от тока возбуждения для синхронного двигателя представлена U-образными характеристиками. Ток возбуждения  $I'_B$  соответствует работе синхронного двигателя при коэффициенте мощности  $\cos\varphi = 1$ . При перевозбуждении двигателя в цепи статора появляется опережающий ток.

Иначе говоря, синхронный двигатель является генератором реактивного тока: индуктивного по отношению к напряжению сети при недовозбуждении и емкостного при перевозбуждении. Указанная способность синхронных двигателей является их ценным качеством, которое используют для повышения коэффициента мощности электрических установок.



U-образные характеристики синхронного двигателя

**Задание 3.** Работа и конструкция электромагнитного реле тока и напряжения.

В качестве воспринимающего органа в электромагнитных реле используются электромагнитные механизмы относительно простых конструкций и позволяющие реализовать разнообразные тяговые характеристики, согласующиеся с механическими характеристиками. Электромагнитные механизмы имеют сравнительно большие тяговые усилия при относительно малых габаритах, что и обуславливает их наиболее широкое применение в реле. На электромагнитном принципе осуществляется работа реле тока (максимального и минимального), реле напряжения (максимального, минимального, сигнальные, промежуточные и др.), реле времени, реле частоты и другие типы реле, применяемые в схемах защиты, управления электроприводами, автоматики.

Промежуточный орган реле - пружина, исполнительный орган - контактная система.

В зависимости от хода якоря различают следующие типы реле: клапанного типа (якорь притягивается с внешней стороны магнитопровода), соленоидного типа (якорь втягивается внутрь), поворотного типа (якорь имеет внешнее поперечное относительно силовых линий магнитного поля движение).

По роду физической величины реле разделяются на реле тока (РТ-40) и реле напряжения (РН-50). По способу воздействия на объект управления реле являются косвенными, по способу включения - вторичными, по ходу якоря - поворотными. Реле применяют в цепях защиты электроустановок.

Реле предусматривает следующие элементы: электромагнит с обмоткой, состоящей из двух катушек, расположенных на верхнем и нижнем стержнях электромагнита; стальной якорь, жестко установленный на двух полюсах; подвижные контактные мостики, закрепленные на якоре с помощью изоляционной колодки; спиральную противодействующую пружину, установленную на держателе, связанную внутренним концом с осью якоря; неподвижные пары

контактов (правая и левая), расположенные на изоляционной колодке; упорные винты (левый, правый), ограничивающие ход якоря; шкалу уставок; указатель уставок (поводок); гаситель вибраций.

**Задание 4. Решение:**

1) Определим магнитный поток

$$\Phi_m = S_a \cdot B_m = 183 \cdot 10^{-4} \cdot 1,48 = 0,027 \text{ Вб}$$

2) Определим ЭДС в первичной обмотке

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot f \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot 500 \cdot 50 \cdot 0,027 = 300 \text{ В}$$

Определим ЭДС во вторичной обмотке

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot f \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 0,027 = 300 \text{ В}$$

#### Экзаменационный билет № 20

**Задание 1. Устройство асинхронных двигателей с фазным ротором.**

Основными частями любого асинхронного двигателя является неподвижная часть – статор и вращающаяся часть, называемая ротором.

Статор трехфазного асинхронного двигателя состоит из шихтованного магнитопровода, запрессованного в литую станину. На внутренней поверхности магнитопровода имеются пазы для укладки проводников обмотки. Эти проводники являются сторонами многовитковых мягких катушек, образующих три фазы обмотки статора. Геометрические оси катушек сдвинуты в пространстве друг относительно друга на 120 градусов.

Фазы обмотки можно соединить по схеме «звезда» или «треугольник» в зависимости от напряжения сети. Например, если в паспорте двигателя указаны напряжения 220/380 В, то при напряжении сети 380 В фазы соединяют «звездой». Если же напряжение сети 220 В, то обмотки соединяют в «треугольник». В обоих случаях фазное напряжение двигателя равно 220 В.

Ротор трехфазного асинхронного двигателя представляет собой цилиндр, набранный из штампованных листов электротехнической стали и насаженный на вал. В зависимости от типа обмотки роторы трехфазных асинхронных двигателей делятся на короткозамкнутые и фазные.

В асинхронных электродвигателях большей мощности и специальных машинах малой мощности для улучшения пусковых и регулировочных свойств применяются фазные роторы. В этих случаях на роторе укладывается трехфазная обмотка с геометрическими осями фазных катушек, сдвинутыми в пространстве друг относительно друга на 120 градусов.

Фазы обмотки соединяются звездой и концы их присоединяются к трем контактными кольцам, насаженным на вали электрически изолированным как от вала, так и друг от друга. С помощью щеток, находящихся в скользящем контакте с кольцами, имеется возможность включать в цепи фазных обмоток регулировочные реостаты.

Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет лучшие пусковые и регулировочные свойства, однако ему присущи большие масса, размеры и стоимость, чем асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором.

**Задание 2. Назначение, устройство и принцип действия синхронного компенсатора.**

Синхронный компенсатор представляет собой синхронную машину, предназначенную для генерирования реактивной мощности. Синхронный компенсатор включают в электрическую систему с целью повышения ее коэффициента мощности.

Принцип происходящих при этом явлений состоит в том, что необходимую для работы некоторых потребителей реактивную мощность вырабатывает не синхронный генератор, установленный на электростанции, а синхронный компенсатор, установленный в непосредственной близости к потребителю. К числу потребителей переменного тока, требующих значительной реактивной мощности, в первую очередь относятся асинхронные двигатели.

Синхронные компенсаторы применяют также для стабилизации напряжения в сети при передаче энергии по линиям большой протяженности. При больших индуктивных нагрузках напряжение в конце линии (у потребителей) оказывается намного меньше, чем в начале; при



малых нагрузках, наоборот, под влиянием емкостных сопротивлений линии напряжение в конце линии может даже повышаться по сравнению с напряжением в начале. Если же в конце линии (у потребителей) включить СК, работающий при больших нагрузках с перевозбуждением и при малых нагрузках с недо возбуждением, то это позволит поддерживать напряжение в конце линии практически неизменным.

Условия нагревания СК при опережающем токе (при перевозбуждении) более тяжелые, чем при отстающем (при недо возбуждении), поэтому номинальной мощностью компенсатора считают мощность при перевозбуждении.

Обычно коэффициент мощности увеличивают до 0,92...0,95, так как экономия, получаемая от повышения коэффициента мощности до единицы, не оправдывает увеличивающихся расходов, обусловленных возросшей мощностью синхронного компенсатора. Так, если в рассматриваемом примере потребовалось бы увеличить коэффициент мощности в сети до единицы, то пришлось бы применить синхронный компенсатор мощностью 1050 кВ·Ар, т. е. почти в два раза больше, чем при  $\cos \varphi = 0,95$ .

Наиболее важными характеристиками СК являются U-образные характеристики, определяющие основные параметры компенсатора: значения токов в обмотке статора и в обмотке возбуждения. В принципе эти характеристики не отличаются от U-образной характеристики синхронного двигателя в режиме холостого хода. Указанные характеристики строят для разных напряжений сети.

### Задание 3. Работа и конструкция реле времени.

Реле времени предназначены для использования в схемах релейной защиты и системах автоматики для селекции управляющих сигналов по длительности, либо для передачи их в контролируемые электрические цепи с установленной задержкой во времени.

В электромагнитных реле времени переменного тока выдержка времени создается с помощью замедляющих механизмов (часового, пневматического, моторного).

Принцип работы реле следующий. Ведущая пружина нормально растянута (заведена) и удерживается в таком положении пальцем, который упирается в верхнюю часть якоря. При поступлении напряжения на обмотку якорь втягивается и сжимает возвратную пружину, освобождая при этом палец. При этом под действием освобожденной ведущей пружины зубчатый сектор, закрепленный на оси, начинает вращаться и вращать сцепленную с ним шестерню. Шестерня соединена с валиком, на который насажена контактная траверса. В начале вращения валик зацепляется с ведущей шестерней с помощью фрикционного устройства, насаженного на ось. Устройство выполняет функции храповой шестерни и храповой пружины.

Ведущая шестерня через трубку и шестерни связана с часовым механизмом. Часовой механизм позволяет контактной траверсе двигаться с определенной скоростью. Выдержка времени определяется временем движения траверсы и начальным положением подвижных контактов относительно неподвижных и проскальзывающих. Изменением положения неподвижных и проскальзывающих контактов по шкале реле обеспечивается регулировка времени срабатывания. Кроме контактов с регулируемой выдержкой времени имеются переключающие контакты мгновенного действия  $\delta$ , которые переключаются при втягивании якоря. При исчезновении напряжения реле мгновенно возвращается в исходное положение.

### Задание 4. Решение:

- 1) Определим ЭДС в первичной обмотке

$$E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot f \cdot \Phi_m$$

$$E_1 = 4,44 \cdot 360 \cdot 50 \cdot 0,4 \cdot 10^{-2} = 320 \text{ В}$$

- 2) Определим ЭДС во вторичной обмотке при спокойном роторе

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot f \cdot \Phi_m$$

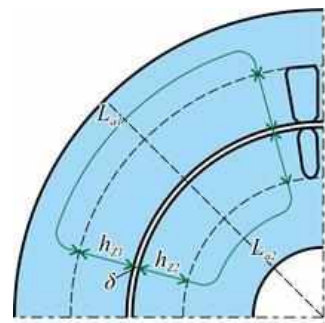
$$E_2 = 4,44 \cdot 30 \cdot 50 \cdot 0,4 \cdot 10^{-2} = 26,64 \text{ В}$$

- 3) Определим ЭДС во вторичной обмотке при вращающемся роторе

$$E_{2s} = E_2 \cdot s; \quad E_{2s} = 26,64 \cdot 0,04 = 1,066 \text{ В.}$$

**Задание 1.** Магнитная цепь асинхронной машины.

Магнитодвижущая сила обмотки статора создает магнитный поток, который замыкается через элементы магнитной системы машины. Магнитная система асинхронной машины неявнополюсная. Количество полюсов, создающих магнитное поле в ней, определяется числом полюсов в обмотке статора. На рисунке представлена магнитная цепь неявнополюсной машины. Здесь видны участки магнитной цепи: воздушный зазор  $\delta$ , зубцовый слой статора  $h_{z1}$  и ротора  $h_{z2}$  ярмо статора  $L_{a1}$  и ротора  $L_{a2}$ .



Каждый из этих участков оказывает магнитному потоку некоторое магнитное сопротивление. Поэтому на каждом участке магнитной цепи затрачивается часть МДС обмотки статора, называемая магнитным напряжением:

$$F_0 = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_2$$

где  $F_0$  – сумма магнитных напряжений участков магнитной цепи.

Расчет МДС обмотки статора на одну пару полюсов сводится к расчету магнитных напряжений на всех участках магнитной цепи.

Исходным параметром при расчете магнитной цепи является максимальная магнитная индукция  $B_\delta$  в воздушном зазоре, которая определяет магнитную нагрузку двигателя: при слишком малой  $B_\delta$  магнитная система двигателя недогружена, габаритные размеры двигателя получаются неоправданно большими; при чрезмерно большом значении  $B_\delta$  резко возрастут магнитные напряжения на участках магнитной системы, особенно в зубцовых слоях статора и ротора, в результате возрастет намагничивающий ток статора  $I_0$  и снизится КПД двигателя.

Наибольшее магнитное напряжение приходится на воздушный зазор, поэтому ток холостого хода при  $U_1 = U_{1ном}$  значительно выше, чем в трансформаторе аналогичной мощности. Относительный ток холостого хода  $I_0$  для двигателей мощностью от 1 до 100 кВт лежит в диапазоне 0,25...0,5; в микродвигателях – 0,5...1,0.

В процессе работы асинхронного двигателя токи в обмотках статора и ротора создают две магнитодвижущие силы: МДС статора и МДС ротора. Совместным действием эти МДС наводят в магнитной системе двигателя результирующий магнитный поток, вращающийся относительно статора с синхронной частотой вращения  $n_1$ . Этот магнитный поток можно рассматривать состоящим из *основного потока*  $\Phi_0$ , сцепленного как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора (магнитный поток взаимоиндукции), и *поточков рассеяния статора*  $\Phi_{z1}$  и *ротора*  $\Phi_{z2}$ . Поточки рассеяния сцепляется только с собственными обмотками и наводят в каждой из них ЭДС рассеяния: в обмотке статора  $E_{z1}$ , в обмотке ротора  $E_{z2}$ .

**Задание 2.** Принцип действия машин постоянного тока.

Характерным признаком коллекторных машин является наличие у них коллектора – механического преобразователя переменного тока в постоянный и наоборот. Необходимость в таком преобразователе объясняется тем, что в обмотке якоря коллекторной машины должен протекать переменный ток, так как только в этом случае в машине происходит непрерывный процесс электромеханического преобразования энергии.

Рассмотрим принцип действия коллекторного генератора постоянного тока. На рисунке 1 изображена упрощенная модель такого генератора: между полюсами  $N$  и  $S$  постоянного магнита находится вращающаяся часть генератора – якорь, вал которого посредством шкива и ременной передачи механически связан с приводным двигателем (на рисунке не показан) – источником механической энергии. В двух продольных пазах на сердечнике якоря расположена обмотка в виде одного витка  $abcd$ , концы которого присоединены к двум медным изолированным друг от друга полукольцам, образующим простейший коллектор. На поверхность коллектора наложены щетки  $A$  и  $B$ , осуществляющие скользящий контакт с коллектором и связывающие генератор с внешней цепью, куда включена нагрузка сопротивлением  $R$ .

Предположим, что приводной двигатель вращает якорь генератора против часовой стрелки, тогда в витке на якоре, вращающемся в магнитном поле постоянного магнита, наводится ЭДС, мгновенное значение которой  $e = 2Blv$ , а направление для положения якоря, изображенного на рисунке, указано стрелками.

В процессе работы генератора якорь вращается и виток  $abcd$  занимает разное пространственное положение, поэтому в *обмотке якоря наводится переменная ЭДС*. Если бы в машине не было коллектора и щеток переменный ток обмотки якоря преобразуется в пульсирующий ток во внешней цепи генератора, т.е. ток, неизменный по направлению. При положении витка якоря, показанном на рис. 1, ток во внешней цепи (в нагрузке) направлен от щетки  $A$  к щетке  $B$ ; следовательно, щетка  $A$  является положительной, а щетка  $B$  - отрицательной. После поворота якоря на  $180^\circ$  направление тока в витке якоря изменится на обратное, однако полярность щеток, а следовательно, и направление тока во внешней цепи (в нагрузке) останутся неизменными. Объясняется это тем, что в тот момент, когда ток в витке якоря меняет свое направление, происходит смена коллекторных пластин под щетками. Таким образом, под щеткой  $A$  всегда находится пластина, соединенная с проводником, расположенным под северным магнитным полюсом, а под щеткой  $B$  - пластина, соединенная с проводником, расположенным под южным полюсом. Благодаря этому полярность щеток генератора остается неизменной независимо от положения витка якоря. Что же касается пульсаций тока во внешней цепи, то они намного ослабевают при увеличении числа витков в обмотке якоря при их равномерном распределении по поверхности якоря и соответствующем увеличении числа пластин в коллекторе.

В соответствии с принципом обратимости электрических машин упрощенная модель машины постоянного тока может быть использована в качестве двигателя постоянного тока. Для этого необходимо отключить нагрузку генератора  $R$  и подвести к щеткам машины напряжение от источника постоянного тока.

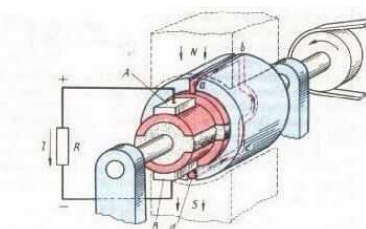


Рисунок 1 - Упрощенная модель коллекторной машины

Например, если к щетке  $A$  подключить зажим «плюс», а к щетке  $B$  - «минус», то в обмотке якоря появится ток  $I$ . В результате взаимодействия этого тока с магнитным полем постоянного магнита (полем возбуждения) появятся электромагнитные силы  $F_{эм}$ , создающие на якоре электромагнитный момент  $M$  и вращающие его против часовой стрелки. После поворота якоря на  $180^\circ$  электромагнитные силы не изменяют своего направления, так как одновременно с переходом каждого проводника обмотки якоря из зоны одного магнитного полюса в зону другого полюса в этих проводниках меняется направление тока.

**Задание 3.** Назначение, основные технические характеристики и классификация предохранителей. Устройство и принцип действия предохранителей.

**Предохранители** - это коммутационные электрические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей от аварийных режимов, защиты электрических сетей, электрооборудования общепромышленных установок, вагонов метрополитена и др. от токов перегрузки и коротких замыканий. Они отключают защищаемую цепь посредством разрушения специально предусмотренных для этого токоведущих частей под воздействием тока, превышающего определенное значение.

Основными частями предохранителя являются плавкая вставка и основание для ее установки.

Плавкая вставка - часть предохранителя, в которой происходит отключение электрического тока, подлежащая замене после срабатывания предохранителя. Она представляет собой корпус, в котором расположен плавкий элемент, расплавляющийся при срабатывании предохранителя, и дугогасительное устройство, представляющее собой наполнитель, для гашения возникающей при перегорании плавкого элемента электрической дуги.

Держатель плавкой вставки – съемная часть предохранителя, предназначенная для удержания его плавкой вставки.

Контакты плавкой вставки – токоведущая часть, обеспечивающая электрическую связь контактов плавкой вставки с подводными проводниками.

Держатель предохранителя – сочетание основания предохранителя с держателем плавкой вставки.

Боек предохранителя – механическое устройство в конструкции плавкой вставки предохранителя, которое при срабатывании предохранителя освобождает энергию, необходимую для срабатывания других аппаратов (или указателей) или для воздействия на свободные контакты предохранителя.

Параметры и характеристики предохранителей

**Номинальный ток**  $I_{ном}$  предохранителя – ток, определяемый его теплофизическими и геометрическими параметрами.

**Номинальный ток держателя (или основания)** предохранителя представляет собой наибольший номинальный ток плавкой вставки, которая может быть использована в предохранителе.

**Номинальное напряжение предохранителя** – максимальное напряжение электрической цепи (действующее значение), при котором обеспечивается надежное отключение предохранителей этой цепи.

#### **Классификация предохранителей низкого напряжения**

Предохранители классифицируются по конструктивным, функциональным и параметрическим признакам.

**По конструкции плавких вставок** предохранители подразделяются на:

- разборные – предохранители, допускающие замену плавких элементов после срабатывания на месте эксплуатации;
- неразборные – предохранители, у которых замене подлежит вся плавкая вставка.

**По наличию наполнителя** различаются плавкие вставки:

- без наполнителя;
- с наполнителем.

**По форме корпуса** плавкие вставки подразделяются на:

- цилиндрические (или трубчатые) – с плавкой вставкой цилиндрической формы;
- призматические – с плавкой вставкой в виде прямоугольного параллелепипеда.

**По виду плавких вставок** в зависимости от быстродействия:

- небыстродействующие (плавкие вставки типа g и a) – характеристики их обеспечивают защиту устройств с относительно большой постоянной времени нагрузки (трансформаторы, электрические машины, кабели);
- быстродействующие (плавкие вставки типа aR и gR) характеристики их обеспечивают защиту устройств с относительно малой постоянной времени нагрузки (силовые полупроводниковые приборы).

**По напряжению:**

- низковольтные;
- высоковольтные.

**Задание 4. Решение:**

Определим ЭДС, наводимую в обмотке якоря

$$n = \frac{60aE}{pN\Phi} = \frac{60 \cdot 3 \cdot 210}{3 \cdot 500 \cdot 0,02} = 1260 \text{ об / мин}$$

#### Экзаменационный билет № 22

**Задание 1.** Рабочий процесс трехфазного асинхронного двигателя.

Как следует из принципа действия асинхронного двигателя, обмотка ротора не имеет электрической связи с обмоткой статора. Между этими обмотками существует только магнитная связь, и энергия из обмотки статора передается в обмотку ротора магнитным полем. В этом отношении асинхронная машина аналогична трансформатору: обмотка статора является первичной, а обмотка ротора вторичной.

В процессе работы асинхронного двигателя токи в обмотках статора и ротора создают две магнитодвижущие силы; МДС статора и МДС ротора. Совместным действием эти МДС наводят в магнитной системе двигателя результирующий магнитный поток, вращающийся относительно статора с синхронной частотой вращения  $n_1$ . Так же как и в трансформаторе, этот магнитный поток можно рассматривать состоящим из основного потока  $\Phi$ , сцепленного как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора (магнитный поток взаимной индукции), и двух потоков рассеяния:  $\Phi_{\sigma 1}$  - потока рассеяния обмотки статора и  $\Phi_{\sigma 2}$  - потока рассеяния обмотки ротора. Рассмотрим, какие ЭДС наводят указанные потоки в обмотках двигателя.

**Электродвижущие силы, наводимые в обмотке статора.** Основной магнитный поток  $\Phi$ , вращающийся с частотой  $n_1$ , наводит в неподвижной обмотке статора ЭДС  $E_1$ , значение которой определяется выражением

$$E_1 = 4,44f\Phi w_1 k_{o61}$$

Магнитный поток рассеяния  $\Phi_{\sigma 1}$  наводит в обмотке статора ЭДС рассеяния, значение которой определяется индуктивным падением напряжения в обмотке статора:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_1$$

где  $x_1$  - индуктивное сопротивление рассеяния фазной обмотки статора, Ом.

Для цепи обмотки статора асинхронного двигателя, включенной в сеть с напряжением  $U_1$ , запишем уравнение напряжений по второму закону Кирхгофа:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_1 r_1$$

где  $\dot{I}_1 r_1$  - падение напряжения в активном сопротивлении обмотки статора  $r_1$ .

После переноса ЭДС  $\dot{E}_1$  и  $\dot{E}_{\sigma 1}$  в правую часть уравнения получим *уравнение напряжений обмотки статора* асинхронного двигателя:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1$$

Сравнив полученное уравнение с уравнением, видим, что оно не отличается от уравнения напряжений для первичной цепи трансформатора.

**Электродвижущие силы, наводимые в обмотке ротора.**

В процессе работы асинхронного двигателя ротор вращается в сторону вращения поля статора с частотой  $n_2$ . Поэтому частота вращения поля статора относительно ротора равна разности частот вращения ( $n_1 - n_2$ ). Основной магнитный поток  $\Phi$ , обгоняя ротор с частотой вращения  $n_s = (n_1 - n_2)$ , индуцирует в обмотке ротора ЭДС

$$E_{2s} = 4,44f_2 \Phi w_2 k_{o62}$$

где  $f_2$  - частота ЭДС  $E_{2s}$  в роторе, Гц;

$w_2$  - число последовательно соединенных витков одной фазы обмотки ротора;

$k_{o62}$  - обмоточный коэффициент обмотки ротора.

Частота ЭДС (тока) в обмотке вращающегося ротора пропорциональна частоте вращения магнитного поля относительно ротора  $n_s = n_1 - n_2$ , называемой *частотой скольжения*:

$$f_2 = \frac{pn_s}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \quad \text{или}$$

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{pn_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s$$

т. е. *частота ЭДС (тока) ротора пропорциональна скольжению*. Для асинхронных двигателей общепромышленного назначения эта частота обычно невелика и при  $f_1 = 50$  Гц не превышает нескольких герц. Подставив - получим

$$E_{2s} = 4,44f_1 \Phi w_2 k_{o62} = E_{2s}$$

где  $E_2$  - ЭДС, наведенная в обмотке ротора при скольжении  $s = 1$ , т. е. при неподвижном роторе, В.

**Задание 2.** Устройство коллекторной машины постоянного тока.

Неподвижная часть машины постоянного тока называется статором, вращающаяся часть - якорем.

**Статор.** Состоит из станины и главных полюсов. Станина служит для крепления полюсов и подшипниковых щитов и является частью магнитопровода, так как через нее замыкается магнитный поток машины. Станину изготавливают из стали - материала, обладающего достаточной механической прочностью и большой магнитной проницаемостью. В нижней

части станины имеются лапы для крепления машины к фундаментальной плите, а по окружности станины расположены отверстия для крепления сердечников главных полюсов б. Обычно станину делают цельной из стальной трубы, либо сварной из листовой стали, за исключением машин с весьма большим наружным диаметром у которых станину делают разъемной, что облегчает транспортировку и монтаж машины.

Главные полюсы предназначены для создания в машине магнитного поля возбуждения. Главный полюс состоит из сердечника и полюсной катушки. Со стороны, обращенной к якорю, сердечник полюса имеет полюсный наконечник, который обеспечивает необходимое распределение магнитной индукции в зазоре машины.

**Якорь.** Якорь машины постоянного тока состоит из вала сердечника с обмоткой и коллектора. Сердечник якоря имеет шихтованную конструкцию и набирается из штампованных пластин тонколистовой электротехнической стали. Листы покрывают изоляционным лаком, собирают в пакет и запекают. Готовый сердечник напрессовывают на вал якоря. Такая конструкция сердечника якоря позволяет значительно ослабить в тем вихревые токи, возникающие в результате его перемагничивания в процессе вращения в магнитном поле. На поверхности сердечника якоря имеются продольные пазы, в которые укладывают обмотку якоря.

*Обмотку* выполняют медным проводом круглого или прямоугольного сечения. Пазы якоря после заполнения их проводами обмотки обычно закрывают клиньями (текстолитовыми или гетинаксовыми). В некоторых машинах пазы не закрывают клиньями, а накладывают на поверхность якоря бандаж. Бандаж делают из проволоки или стеклоленты с предварительным натягом. Лобовые части обмотки якоря крепят к обмоткодержателям бандажом.

*Коллектор* является одним из сложных узлов машины постоянного тока. Основными элементами коллектора являются пластины трапецеидального сечения из твердотянутой меди, собранные таким образом, что коллектор приобретает цилиндрическую форму. В зависимости от способа закрепления коллекторных пластин различают два основных типа коллекторов: со стальными конусными шайбами и на пластмассе.

Щеткодержатель состоит из обоймы, в которую помещают щетку, курка, представляющего собой откидную деталь, передающую давление пружины на щетку. Помимо указанных частей машина постоянного тока имеет два подшипниковых щита: передний (со стороны коллектора) и задний. В центральной части щита имеется расточка под подшипник. На переднем подшипниковом щите имеется смотровое окно (люк) с крышкой, через которое можно осмотреть коллектор и щетки не разбирая машины. Концы обмоток выведены на зажимы коробки выводов. Вентилятор служит для самовентиляции машины: воздух поступает обычно со стороны коллектора, омывает нагретые части (коллектор, обмотки и сердечники) и выбрасывается с противоположной стороны через решетку.

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия рубильников.

**Рубильник** - простейший электрический коммутационный аппарат с ручным приводом и металлическими ножевыми контактами, входящими в неподвижные пружинящие контакты (гнезда), применяемый в электротехнических цепях для включения/отключения нагрузки с большой силой тока.

Рубильники применяются для включения узлов, находящихся под нагрузкой (с дугогасительной камерой), и систем подачи электроснабжения с большой силой тока (обычно от 20 Ампер). Рубильники без дугогасительной камеры предназначены для включения и отключения сети без нагрузки.

Рубильники разделяются на несколько типов:

- перекидной рубильник - первая самая простая модификация с одним или двумя положениями фиксации коммутации, с любым количеством одновременно коммутируемых линий.
- рубильник с поворотным приводом - чаще всего применяемая на территории СНГ модификация

Рубильники, имеющие компактный размер и выполненные в защищенном корпусе, а также не имеющие характерного длинного (порядка 20 см и более) рычага принято называть выключатель или разъединитель.

Механизм рубильника расположен на монтажной плите размером 360x260 мм. Вал у рубильников РПС может выходить как на правую так и на левую сторону, поэтому при заказе указывается РПС с правым валом или РПС с левым валом. Рубильник РПС имеет передний привод с несъемной рукояткой и может устанавливаться в шкафы, где рукоятка привода должна выходить на лицевую панель. Например, рубильники РПС устанавливаются в панели ЩО70. Функцию защиты от перегрузок и токов короткого замыкания выполняют предохранители, которые расположены под механизмом коммутации.

Одной из основных частей так же как в рубильнике является губка, кроме того здесь имеется сдвоенная губка которая выполняет функцию электрического соединения устройства коммутации и устройства защиты. Сдвоенную губку, отдельно или в сборе с изолятором, также можно приобрести отдельно от рубильника. Количество срабатываний – более 5000 раз.

**Задание 4. Решение:**

1) Определим магнитный поток, необходимый для создания в обмотке якоря ЭДС

$$\Phi = \frac{60aE}{pNn} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 211}{2 \cdot 36 \cdot 10 \cdot 750} = 0,047 \text{ Вб}$$

### Экзаменационный билет № 23

**Задание 1.** Потери и КПД асинхронного двигателя. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.

Преобразование электрической энергии в механическую в асинхронном двигателе связано с потерями энергии, поэтому полезная мощность на выходе двигателя  $P_2$  всегда меньше мощности на входе (потребляемой мощности)  $P_1$  на величину потерь  $\Sigma P$ :  $P_2 = P_1 - \Sigma P$

Потери  $\Sigma P$  преобразуются в теплоту, что в конечном итоге ведет к нагреву машины. Потери в электрических машинах разделяются на основные и добавочные. Основные потери включают в себя магнитные, электрические и механические.

*Магнитные потери*  $P_m$  в асинхронном двигателе вызваны потерями на гистерезис и потерями на вихревые токи, происходящими в сердечнике при его перемагничивании. Величина магнитных потерь пропорциональна частоте перемагничивания  $P_m \equiv f^\beta$ ,

Магнитные потери в сердечнике ротора настолько малы, что их в практических расчетах не учитывают.

*Электрические потери* в асинхронном двигателе вызваны нагревом обмоток статора и ротора проходящими по ним токами. Величина этих потерь пропорциональна квадрату тока в обмотке (Вт):

электрические потери в обмотке статора

$$P_{\Sigma 1} = m_1 I_1^2 r_1$$

электрические потери в обмотке ротора

$$P_{\Sigma 2} = m_2 I_2^2 r_2$$

Здесь  $r_1$  и  $r_2$  - активные сопротивления обмоток фаз статора и ротора пересчитанные на рабочую температуру  $\theta_{\text{раб}}$ :

Электрические потери в роторе прямо пропорциональны скольжению:

$$P_{\Sigma 2} = s P_{\Sigma m}$$

где  $P_{\Sigma m}$  - электромагнитная мощность асинхронного двигателя, Вт:

$$P_{\Sigma m} = P_1 - (P_m + P_{\Sigma 1})$$

Из этого следует, что работа асинхронного двигателя экономичнее при малых скольжениях, так как с ростом скольжения растут электрические потери в роторе.

В асинхронных двигателях с фазным ротором помимо перечисленных электрических потерь имеют место еще и электрические потери в щеточном контакте

$$P_{\Sigma \text{щ}} = 3 I_2 \Delta U_{\text{щ}} / 2$$

где  $\Delta U_{\text{щ}} = 2,2$  В - переходное падение напряжения на пару щеток.

*Механические потери*  $P_{\text{мех}}$  - это потери на трение в подшипниках и на вентиляцию.

Величина этих потерь пропорциональна квадрату частоты вращения ротора ( $(P_{\text{мех}} \equiv n_2^2)$ ). В



асинхронных двигателях с фазным ротором механические потери происходят еще и за счет трения между щетками и контактными кольцами ротора.

*Добавочные потери* включают в себя все виды трудноучитываемых потерь, вызванных действием высших гармоник МДС, пульсацией магнитной индукции в зубцах и другими причинами. В соответствии с ГОСТом добавочные потери асинхронных двигателей принимают равными 0,5% от подводимой к двигателю мощности  $P_1$ :

$$P_{доб} = 0,005P_1$$

Сумма всех потерь асинхронного двигателя (Вт)

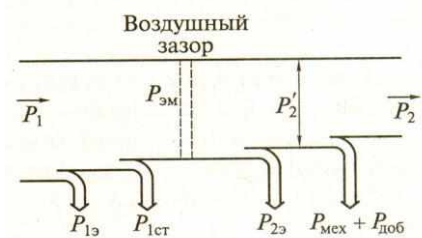
$$\Sigma P = P_m + P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} + P_{мех} + P_{доб}$$

Нарисуем *энергетическую диаграмму* асинхронного двигателя, из которой видно, что часть подводимой к двигателю мощности  $P_1 = mI U_1 I_1 \cos \phi_1$  затрачивается в статоре на магнитные  $P_m$  и электрические  $P_{\Sigma 1}$  потери. Оставшаяся после этого электромагнитная мощность  $P_{эм}$  передается на ротор, где частично расходуется на электрические потерю  $P_{\Sigma 2}$  и преобразуется в полную механическую мощность  $P_2$ . Часть мощности идет на покрытие механических  $P_{мех}$  и добавочных потерь  $P_{доб}$ , а оставшаяся часть этой мощности  $P_2$  составляет полезную мощность двигателя.

У асинхронного двигателя КПД

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \Sigma P / P_1$$

Электрические потери в обмотках  $P_{\Sigma 1}$  и  $P_{\Sigma 2}$  являются переменными потерями, так как их величина зависит от нагрузки двигателя, т. е. от значений токов в обмотках статора и ротора. Переменными являются также и добавочные потери. Магнитные  $P_m$  и механические  $P_{мех}$  потери практически не зависят от нагрузки.



Коэффициент полезного действия асинхронного двигателя с изменениями нагрузки также меняет свою величину. КПД трехфазных асинхронных двигателей общего назначения при номинальной нагрузке составляет: для двигателей мощностью от 1 до 10 кВт  $\eta_{ном} = 75...88\%$ , для двигателей мощностью более 10 кВт  $\eta_{ном} = 90...94\%$ .

**Задание 2.** Основные сведения об якорных обмотках машин постоянного тока.

Основным элементом обмотки якоря является секция - часть обмотки, подсоединенная к двум коллекторным пластинам, которые следуют друг за другом по схеме обмотки.

Секция может состоять из одного или нескольких витков. Активные стороны секции располагаются под разноименными полюсами на расстоянии полюсного деления друг от друга (полюсным делением называют часть длины окружности якоря, приходящуюся на один полюс). При этом ЭДС, индуцируемые в активных сторонах секции, суммируются.

В современных машинах постоянного тока применяют двухслойные обмотки якоря, в каждом пазу которого укладываются две активные стороны двух различных секций. Очевидно, что в этом случае число пазов равно числу секций.

Для уменьшения пульсаций ЭДС секции обмотки соединяют последовательно: к коллекторной пластине припаивают конец одной секции и начало следующей.

Таким образом, число коллекторных пластин также оказывается равным числу секций.

При проектировании и расчете обмоток якорей используют следующие понятия:

первый частичный шаг  $y_1$  (ширина секции) - число пазов, расположенных между активными сторонами секции;

второй частичный шаг  $y_2$  - число пазов между конечной стороной одной секции и начальной стороной следующей секции;

результрующий шаг  $y$  - число пазов между начальными сторонами двух последовательно соединенных секций;

шаг обмотки по коллектору  $y_k$  — число коллекторных пластин между началом и концом секции по ходу обмотки.

В зависимости от формы секции различают петлевые и волновые обмотки.

В петлевой обмотке секция имеет форму петли, а начало и конец секции припаяны к двум соседним коллекторным пластинам.

Расчет простой петлевой двухслойной обмотки осуществляют по следующим формулам:



$$y = y_k = I; y_1 = \frac{z}{2p} \pm \varepsilon; y_2 = y_1 - y,$$

где  $z$  - число пазов якоря;  $p$  - число пар полюсов машины;  $\varepsilon$  - дробь, которую отнимают или добавляют к значению  $y$ , чтобы оно стало целым числом.

Группы секций образуют параллельные ветви, число которых равно числу полюсов машины. Наличие параллельных ветвей позволяет уменьшить токовые нагрузки на щетки, что очень важно, так как коллекторно-щеточный контакт - самый уязвимый и ненадежный элемент электрической машины постоянного тока.

В волновой обмотке секция по форме напоминает волну.

Расчет простой волновой двухслойной обмотки осуществляется по формулам

$$y = y_k = \frac{k \pm 1}{p}; y_1 = \frac{z}{2p} \pm \varepsilon; y_2 = y - y_1,$$

где  $k$  - число коллекторных пластин.

Простая волновая обмотка всегда имеет одну пару параллельных ветвей.

Волновую обмотку, в которой половина секций всегда соединена последовательно, применяют в электрических машинах, рассчитанных на высокие напряжения.

В машинах, рассчитанных на сильные токи, используют петлевые обмотки с большим числом пар параллельных ветвей.

Для увеличения числа пар параллельных ветвей разработаны схемы сложных петлевых и волновых обмоток, состоящих из двух или нескольких простых обмоток.

Токи, индуцируемые в якорной обмотке, подводятся к потребителю электрической энергии через щеточно-коллекторный узел. Коллектор машины постоянного тока является самой ответственной в эксплуатации деталью, так как его скользящий контакт требует постоянного наблюдения и ухода, очистки от пыли, нагара и грязи, поддержания оптимального давления между трущимися поверхностями. Кроме того, коллектор является механическим выпрямителем переменного тока, который периодически меняет направление тока в каждой секции, сохраняя постоянство направления тока во внешней цепи.

**Задание 3.** Назначение, устройство и принцип работы короткозамыкателей.

*Короткозамыкатели* служат для того чтобы создавать искусственное КЗ сети по сигналу релейной защиты. Отличаются высоким быстродействием.

Это тоже электротехнический коммутационный аппарат, работающий в цепях 6 или 10 кВ. Со стороны подвижного поворотного ножа он надежно заземлен на контур подстанции, а на противоположном конце стационарного контакта подключен тоководом к одной фазе линии. Рубящий рабочий нож короткозамыкателя в нормальном положении отведен на безопасное расстояние от фазы, исключающее случайное перекрытие ее напряжения на землю.

Стационарный контакт постоянно находится под потенциалом линии и отделен от контура заземления сопротивлением опорного изолятора. Вся эта конструкция смонтирована на прочной металлической раме и поднята на безопасное расстояние от земли.

Управление короткозамыкателем осуществляется через рычажную систему. В ручном режиме подвижный нож отводится оперативным персоналом от стационарного контакта в положение готовности к срабатыванию. При этом взводится силовая пружина. Одновременно переключаются блок контакты КСА, повторяющие его положение для работы вторичных цепей.

При определении защитами неисправностей в схеме на электромагнит катушки отключения подается напряжение. В результате этого защелка пружины выбивается из зацепления и приложенным к системе рычагов крутящим моментом подвижный нож резко набрасывается на стационарный контакт. На фазе линии возникает искусственно созданное короткое замыкание с землей.

Конструкция короткозамыкателя рассчитана на прохождение через его нож и контакты аварийных токов, создаваемых при КЗ с учетом восприятия термического удара. Она выдерживает эти токи за время их прохождения от момента возникновения до снятия напряжения защитами удаленного выключателя.

Короткозамыкатели используют в сетях с заземленной или изолированной нейтралью. В первом случае их устанавливают на одну фазу, а во втором на две для обеспечения надежного замыкания.

**Задание 4.** Найти сопротивление якоря, если ток якоря составляет 78 А, мощность генератора  $P_2 = 9,0$  кВт, а электромагнитная  $P_{эм} = 9,3$  кВт.

Решение

- 1) Определим напряжение на зажимах генератора

$$U_{ном} = P_2 / I_{ном} = 9000/78 = 115,4 \text{ В}$$

- 2) Определим ЭДС генератора

$$E = P_{эм} / I_я = 9300/78 = 120 \text{ кВт}$$

- 3) Определим сопротивление обмотки якоря

$$R_я = (E - U_{ном})/I_я = (120 - 115,4)/78 = 0,06 \text{ Ом}$$

#### Экзаменационный билет № 24

**Задание 1.** Электромагнитный момент и механические характеристики асинхронного двигателя.

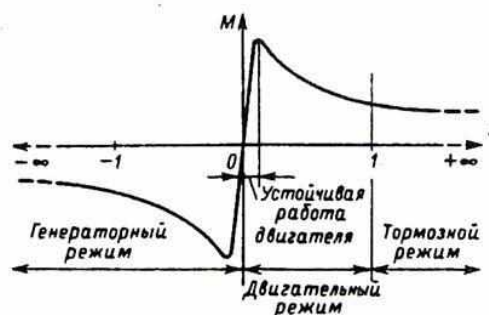
Электромагнитный момент асинхронного двигателя создается взаимодействием тока в обмотке ротора с вращающимся магнитным полем. Электромагнитный момент  $M$  пропорционален электромагнитной мощности:

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1}$$

где  $\omega_1 = 2\pi n_1/60 = 2\pi f/p$  - угловая синхронная скорость вращения.

т. е. электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален мощности электрических потерь в обмотке ротора.

Зависимость момента от скольжения  $M=f(s)$  при  $U_1 = \text{const}$ ,  $f_1 = \text{const}$  и постоянных параметрах схемы замещения принято называть *механической характеристикой* асинхронной машины.



По характеристике видно, что при значениях скольжения  $s = 0$  и  $s = \infty$  электромагнитный момент  $M = 0$ . Из этого следует, что механическая характеристика  $M=f(s)$  имеет максимум.

На этой характеристике указаны зоны, соответствующие различным режимам работы: двигательный режим ( $0 < s < 1$ ), когда электромагнитный момент  $M$  является вращающим; генераторный режим ( $-\infty < s < 0$ ) и тормозной режим противовключением ( $1 < s < +\infty$ ), когда электромагнитный момент  $M$  является тормозящим.

Электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения сети:  $M \equiv U^2$ . Это в значительной степени отражается на эксплуатационных свойствах двигателя: *далее небольшое снижение напряжения сети вызывает заметное уменьшение вращающего момента асинхронного двигателя*

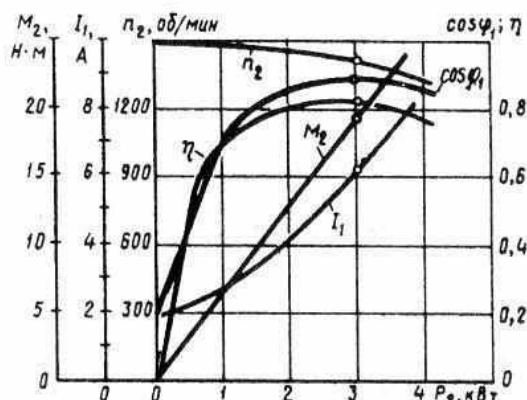
Из анализа механической характеристики также следует, что *устойчивая работа асинхронного двигателя возможна при скольжениях меньше критического ( $s < s_{кр}$ )*, т. е. на участке  $OA$  механической характеристики. Дело в том, что именно на этом участке изменение нагрузки на валу двигателя сопровождается соответствующим изменением электромагнитного момента. Работа асинхронного двигателя становится неустойчивой при скольжениях  $s > s_{кр}$ . Так, если электромагнитный момент двигателя  $M = M_{max}$ , а скольжение  $s = s_{кр}$ , то даже незначительное увеличение нагрузочного момента  $M_2$ , вызвав увеличение скольжения  $s$ , приведет к уменьшению электромагнитного момента  $M$ . За этим последует дальнейшее увеличение скольжения и т. д., пока скольжение не достигнет значения  $s = 1$ , т. е. пока ротор двигателя не остановится.

Таким образом, при достижении электромагнитным моментом максимального значения наступает предел устойчивой работы асинхронного двигателя. Но чтобы работа асинхронного двигателя была надежной и чтобы случайные кратковременные перегрузки не вызывали остановок двигателя, необходимо, чтобы он обладал перегрузочной способностью. Перегрузочная способность двигателя  $\lambda$  определяется отношением максимального момента  $M_{\max}$  к номинальному  $M_{\text{ном}}$ ,

Критическое скольжение определяется по формуле

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$$

Рабочие характеристики асинхронного двигателя



Рабочие характеристики асинхронного двигателя представляют собой графически выраженные зависимости частоту вращения  $n_2$ , КПД  $\eta$ , полезного момента (момента на валу)  $M_2$ , коэффициента мощности  $\cos\phi$ , и тока статора  $I_1$  от полезной мощности  $P_2$  при  $U_1 = \text{const}$  и  $f_1 = \text{const}$ .

### Задание 2. Магнитная цепь машины постоянного тока и принцип ее расчета.

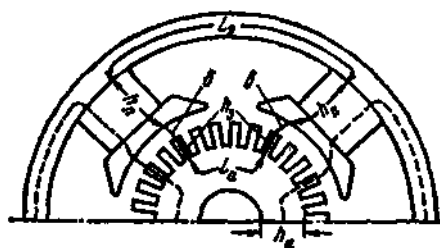
Магнитная система машины постоянного тока состоит из станины (ярма), сердечников главных полюсов с полюсными наконечниками, воздушного зазора и сердечника якоря.

Машина, работающая в режиме х.х., когда МДС создается лишь обмоткой возбуждения, а в обмотке якоря и обмотке добавочных полюсов тока нет или он настолько мал, что его влиянием на картину магнитного поля можно пренебречь. Магнитный поток главных полюсов состоит из двух неравных частей: большая часть образует основной магнитный поток  $\Phi$ , а меньшая - магнитный поток рассеяния полюсов  $\Phi_\sigma$ . Поток рассеяния учитывается коэффициентом рассеяния  $\sigma_m$ .

Магнитодвижущая сила обмотки возбуждения на пару полюсов в режиме х.х. определяется суммой магнитных напряжений на участках магнитной цепи.

$$F_{\text{во}} = \Sigma F = 2F_\sigma + 2F_z + 2F_m + F_a + F_\text{я}$$

где  $F_z$ ,  $F_m$ ,  $F_a$ ,  $F_\text{я}$ , - магнитные напряжения воздушного зазора, зубцового слоя якоря, главного полюса, спинки якоря, станины (ярма) соответственно.



Расчетный участок магнитной цепи четырехполюсной МПТ

Если машина имеет компенсационную обмотку), то в формулу следует ввести еще одно слагаемое  $F_{zm}$ , представляющее собой магнитное напряжение зубцового слоя главного полюса.

Порядок расчета магнитных напряжений на участках магнитной цепи машины постоянного тока в принципе такой же, что и в случае асинхронной машины. При этом расчет магнитных напряжений станины и сердечника главного полюса ведут по магнитному потоку главного полюса  $\Phi_m$ , который больше основного потока  $\Phi$  на значение потока рассеяния  $\Phi_\sigma$

$$\Phi_m = \Phi + \Phi_\sigma = \Phi(1 + \sigma_m),$$

где  $\sigma_m = 10\sigma/\tau = 0,10 - 0,25$  - коэффициент магнитного рассеяния.

При заданном значении ЭДС машины  $E_a$  определяют требуемое значение основного магнитного потока (Вб):

$$\Phi = \frac{60aE_a}{pNn}$$

Далее рассчитывают магнитную индукцию для каждого участка магнитной цепи:

$$B_x = \Phi_x/S_x,$$

где  $\Phi_x$  - магнитный поток на данном участке магнитной цепи, Вб;

$S_x$  - площадь поперечного сечения этого участка, м<sup>2</sup>.

По таблицам или кривым намагничивания для соответствующих ферромагнитных материалов находят напряженность магнитного поля на участках магнитной цепи  $H_x$ , а затем определяют магнитное напряжение (А) и МДС обмотки возбуждения на пару полюсов по (1).

$$F_x = H_x l_x$$

Значения магнитных напряжений для различных участков магнитной цепи неодинаковы и зависят от магнитных сопротивлений этих участков. Наибольшим магнитным сопротивлением обладает воздушный зазор, поэтому магнитное напряжение  $F_\delta$  намного больше любого из слагаемых первого выражения.

Другие участки магнитной цепи выполняют из ферромагнитных материалов. В машинах постоянного тока для изготовления различных элементов магнитной цепи применяют следующие материалы.

Магнитное напряжение воздушного зазора (А)

$$F_\delta = 0,8 B_\delta \delta k_\delta 10^3$$

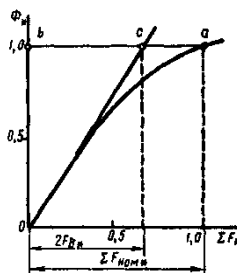
где  $\delta$  - величина воздушного зазора, мм;  $k_\delta$  - коэффициент воздушного зазора, учитывающий увеличение магнитного сопротивления зазора из-за зубчатости якоря ( $k_\delta > 1$ ).

Магнитная индукция в воздушном зазоре  $B_\delta$  (Тл) пропорциональна основному магнитному потоку  $\Phi$ . В машинах постоянного тока общего назначения  $B_\delta = 0,6 - 1,0$  Тл (большие значения  $B_\delta$  соответствуют более крупным машинам).

Обычно расчет МДС  $\Sigma F$  ведут для ряда значений магнитного потока ( $0,5\Phi_{ном}$ ,  $0,75\Phi_{ном}$ ,  $\Phi_{ном}$  и  $1,2\Phi_{ном}$ ), а затем строят магнитную характеристику машины  $\Phi^* = f(\Sigma F)$  где  $\Phi^* = \Phi/\Phi_{ном}$  - относительное значение магнитного потока;  $\Sigma F^* = \Sigma F / \Sigma F_{ном}$  - относительное значение МДС обмотки возбуждения на пару полюсов в режиме х.х.;  $\Phi_{ном}$  и  $\Sigma F_{ном}$  - номинальные значения магнитного потока и МДС в режиме х.х., соответствующие номинальному значению ЭДС  $E_a$  В начальной части характеристика прямолинейна (рисунок 3). Объясняется это тем, что при небольших значениях  $\Sigma F^*$ , магнитная цепь не насыщена и МДС возбуждения определяется, в основном, магнитным напряжением воздушного зазора  $\Sigma F = 2 F_\delta$ . Затем с ростом  $\Sigma F^*$  наступает насыщение магнитной цепи и магнитная характеристика становится криволинейной. Коэффициент насыщения магнитной цепи машины

$$k_\mu = \Sigma F_{ном} / (2 F_{\delta}^*) = ba/bc = 1/(2 F_{\delta}^*)$$

Для машин постоянного тока  $k_\mu = 1,2 - 1,7$ .



Магнитная характеристика

**Задание 3.** Назначение, области применения и основные технические характеристики разъединителей.

**Разъединитель** представляет собой коммутационный аппарат, используемый для включения и отключения электрических цепей в таких условиях, при которых на его контактах

не возникает длинной открытой электрической дуги. В отключенном положении разъединителя на его контактах создается **видимый разрыв**.

Кроме того, разъединители наружной установки рассчитываются на возможность разрыва посредством их ножей зарядных токов воздушных и кабельных линий, а также токов холостого хода силовых трансформаторов и токов небольших нагрузок. Поэтому их контакты часто снабжаются дугогасительными рогами.

Отличительной чертой разъединителей в сравнении с выключателями является отсутствие дугогасительных устройств.

Основное назначение разъединителя заключается в изоляции отключенных частей электрической цепи с целью безопасного ремонта оборудования. Разъединители строятся для внутренней и для наружной установки на всю шкалу токов и напряжений. Они могут выполняться как трехполюсными на общей раме (обычно при напряжениях до 35 кВ), так и однополюсными при более высоких напряжениях. Последнее обусловлено тем, что при напряжениях свыше 35 кВ требуемые расстояния между фазами достаточно велики и общая рама получается чрезвычайно громоздкой и тяжелой.

Основные требования, предъявляемые к разъединителям:

- 1) Контактная система должна надежно пропускать номинальный ток сколь угодно длительное время и иметь необходимую динамическую и термическую стойкость.
- 2) Разъединитель и механизм его привода должны надежно удерживаться во включенном положении при протекании тока КЗ. В отключенном положении подвижный контакт должен быть надежно фиксирован.
- 3) Промежуток между разомкнутыми контактами должен иметь повышенную электрическую прочность.
- 4) Привод разъединителя целесообразно блокировать с выключателем.

Основными электрическими параметрами разъединителя являются: номинальное напряжение, номинальный ток и токи устойчивости, то есть токи, определяющие термическую и электродинамическую устойчивость разъединителя при прохождении по его токоведущим частям токов КЗ.

**Задание 4. Решение:**

- 1) Определим мощность двигателя, взятую из сети

$$P_1 = U_{\text{ном}} I_{\text{н}} = 220 \cdot 40 = 8,8 \text{ кВт В}$$

- 2) Определим номинальную мощность на валу электродвигателя

$$P_2 = \eta_{\text{дв}} P_1 = 0,85 \cdot 8,8 = 7,48 \text{ кВт}$$

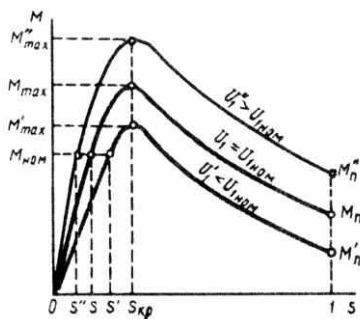
- 3) Определим номинальный момент

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{7480}{2000} = 35,7 \text{ Нм}$$

#### Экзаменационный билет № 25

**Задание 1.** Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении напряжения сети.

Электромагнитный момент асинхронного двигателя, а также его максимальное и пусковое значения пропорциональны квадрату напряжения, подводимого к обмотке статора:  $M \propto U_1^2$ . В то же время значение критического скольжения не зависит от напряжения  $U_1$ . Это дает возможность построить механические характеристики  $M = f(s)$  для разных значений напряжения  $U_1$ , из которых следует, что колебания напряжения сети  $U_1$  относительно его номинального значения  $U_{1\text{ном}}$  сопровождаются не только изменениями максимального и пускового моментов, но и изменениями частоты вращения ротора. С уменьшением напряжения сети частота вращения ротора снижается (скольжение увеличивается). Напряжение  $U_1$  влияет на значение максимального момента  $M_{\text{max}}$ , а также на перегрузочную способность двигателя  $\lambda = M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$ .



**Задание 2.** Реакция якоря машины постоянного тока. Устранение вредного влияния реакция якоря.

При работе машины под нагрузкой по обмотке якоря проходит ток, вследствие чего возникает МДС якоря. Воздействие МДС якоря на магнитное поле машины называют *реакцией якоря*. Для упрощения анализа явления реакции якоря будем пренебрегать насыщением магнитной цепи машины и считать, что МДС  $F_{\text{в}}$  обмотки возбуждения и МДС  $F_{\text{aq}}$  обмотки якоря расходятся на преодоление магнитными потоками воздушного зазора. В этом случае вместо указанных МДС можно рассматривать соответствующие потоки: возбуждения  $\Phi_{\text{в}}$  и реакции якоря  $\Phi_{\text{aq}}$ . При холостом ходе магнитный поток возбуждения направлен по продольной оси машины). При работе под нагрузкой магнитный поток  $\Phi_{\text{aq}}$ , созданный МДС якоря  $F_{\text{aq}}$ , в двухполюсной машине при установке щеток на геометрической нейтрали направлен по поперечной оси машины, поэтому магнитное поле якоря называют *поперечным*. В результате действия реакции якоря симметричное распределение магнитного поля машины относительно оси главных полюсов искажается и *результатирующее поле оказывается смещенным к одному из краев каждого главного полюса*. При этом физическая нейтраль  $O' - O'$  (линия, соединяющая точки окружности якоря, в которых индукция равна нулю) смещается относительно геометрической нейтрали  $O - O$  на некоторый угол  $\beta$ . В генераторах физическая нейтраль смещается по направлению вращения якоря; в двигателях - против направления вращения.

Таким образом, реакция якоря оказывает неблагоприятное влияние на работу машины постоянного тока:

а) физическая нейтраль  $O' - O'$  смещается относительно геометрической нейтрали  $O - O$  на некоторый угол  $\beta$ ;

б) искажается кривая распределения индукции  $B_{\text{рез}} = f(x)$  в воздушном зазоре и возрастает индукция под одним из краев главных полюсов, что ведет к повышению напряжения в секциях, когда их стороны проходят зоны с увеличенной индукцией.

Кроме того, как показано ниже, результирующий магнитный поток машины при насыщенной магнитной цепи уменьшается.

### **Размагничивающее действие поперечного поля реакции якоря.**

Если магнитная цепь машины не насыщена, то кривая результирующей индукции в воздушном зазоре под действием реакции якоря искажается, однако площадь ее остается равной площади кривой индукции при холостом ходе. Следовательно, результирующий поток  $\Phi_{\text{рез}}$  при нагрузке равен потоку  $\Phi_{\text{в}}$  при холостом ходе. Однако при насыщенной магнитной цепи реакция якоря уменьшает поток  $\Phi_{\text{рез}}$ .

Если машина работает при небольших токах возбуждения, т. е. на прямолинейной части (машина не насыщена), то реакция якоря размагничивающего действия не оказывает. Аналогичный эффект получается и при значительном насыщении, когда машина снова работает на прямолинейном участке магнитной характеристики.

### **Устранение вредного влияния реакции якоря**

В связи с тем, что реакция якоря неблагоприятно влияет на рабочие свойства машины постоянного тока, при проектировании машины принимают меры к устранению реакции якоря или хотя бы к ослаблению ее влияния до допустимых пределов.

- 1) Компенсационная обмотка.
- 2) Увеличение воздушного зазора под главными полюсами.

### Задание 3. Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции разъединителей

Основным элементом разъединителя являются его контакты. Они должны надежно работать при номинальном режиме, а также при перегрузках и сквозных токах короткого замыкания. В разъединителях применяют высокие контактные нажатия. При больших токах контакты выполняют из нескольких (до восьми) параллельных пластин. Применяют пластины прямоугольного, швеллерного и круглого сечения.

Разъединители могут иметь приводы: ручной - оперативную штангу, рычажной или штурвальный и двигательный - электрический, пневматический. Во избежание ошибочных действий, т.е. размыкания под током, что может привести к крупным авариям и несчастным случаям, разъединитель всегда блокируется с выключателем. Блокировка допускает оперирование разъединителем только при отключенном выключателе. По исполнению блокировка может быть механической, механической замковой, электромагнитной замковой.

Конструктивное различие между отдельными типами разъединителей состоит прежде всего в характере движения подвижного контакта (ножа). По этому признаку различают разъединители:

- вертикально-поворотного (врубного) и горизонтально-поворотного типов с вращением ножа в плоскости, параллельной или перпендикулярной осям поддерживающих изоляторов данного полюса;
- с прямолинейным движением вдоль размыкаемого промежутка либо только ножа, либо ножа совместно с изолятором (катящегося типа);
- со складывающимся ножом, со сложным движением (поворот и складывание) ножа и др.

### Задание 4. Решение:

2) Предохранитель с плавкой вставкой, должен удовлетворять условию

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq I_{\text{пик}}/\alpha,$$

При защите двигателей ответственных механизмов ток плавкой вставки равен  $I_{\text{вст}} = I_{\text{пик}}/1,6$  независимо от условий пуска электродвигателя.

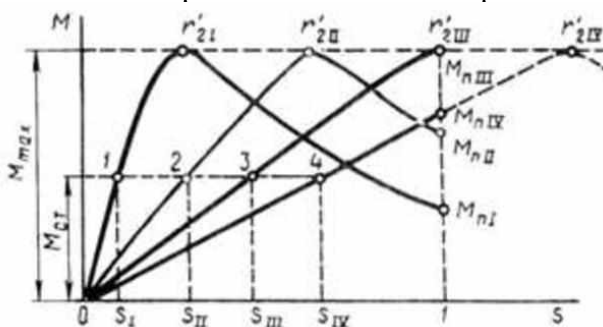
$$I_{\text{ном.пл.вст}} = (4,5 \cdot 12)/1,6 = 33,75 \text{ А}$$

предохранитель типа ПН2-50/25 на отключающую способность не походит, т.к.  $I_{\text{ном.пл.вст}} = 33,75 \text{ А} > 25 \text{ А}$ .

### Экзаменационный билет № 26

**Задание 1.** Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении сопротивления обмотки статора.

Значение максимального момента двигателя не зависит от активного сопротивления ротора  $r_2$ . Что же касается критического скольжения  $s_{кр}$ , то, оно пропорционально сопротивлению  $r'_2$ . Таким образом, если в асинхронном двигателе постепенно увеличивать активное сопротивление цепи ротора, то значение максимального момента будет оставаться неизменным, а критическое скольжение будет увеличиваться. При этом пусковой момент двигателя  $M_n$  возрастает с увеличением сопротивления до некоторого значения.



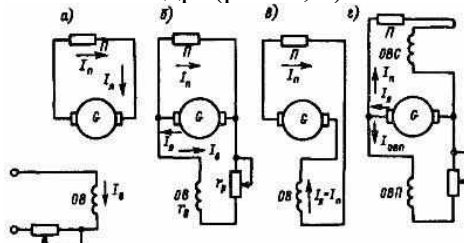
Влияние активного сопротивления обмотки ротора на механическую характеристику асинхронного двигателя

## Задание 2. Способы возбуждения машин постоянного тока.

Ток, протекающий в обмотке возбуждения основных полюсов, создает магнитный поток. Электрические машины постоянного тока следует различать по способу возбуждения и схеме включения обмотки возбуждения.

Генераторы постоянного тока могут выполняться с независимым, параллельным, последовательным и смешанным возбуждением. Следует заметить, что теперь применение в качестве источников энергии генераторов постоянного тока очень ограничено.

Обмотка возбуждения генератора постоянного тока с независимым возбуждением получает питание от независимого источника - сети постоянного тока, специального возбудителя, преобразователя и др. (рис. 1, а).



Схемы генераторов постоянного тока: а - с независимым возбуждением; б с параллельным возбуждением; в с последовательным возбуждением; г со смешанным возбуждением П потребители

У генератора с параллельным возбуждением обмотка возбуждения включается на напряжение самого генератора (смотрите рис. 1, б). Ток якоря  $I_a$  равен сумме токов нагрузки  $I_n$  и тока возбуждения  $I_b$ :  $I_a = I_n + I_b$

Обмотка возбуждения генератора с последовательным возбуждением включена последовательно в цепь якоря и обтекается током якоря (рис. 1, в).

Генератор со смешанным возбуждением имеет две обмотки возбуждения - параллельную ОВП и последовательную ОВС обычно с согласным включением (рис. 1, г).

Схемы возбуждения двигателей постоянного тока подобны схемам для генераторов. Двигатели постоянного тока большой мощности выполняются обычно с независимым возбуждением. У двигателей параллельного возбуждения обмотка возбуждения получает питание от того же источника энергии, что и двигатель. Обмотка возбуждения включается непосредственно на напряжение источника энергии, чтобы не сказывалось влияние падения напряжения в пусковом сопротивлении.

Схема двигателя последовательного возбуждения. Благодаря последовательной обмотке вращающий момент при нагрузке возрастает больше, чем у двигателей параллельного возбуждения, при этом скорость вращения уменьшается. Это свойство двигателей определяет их широкое применение в приводах электровозной тяги: в магистральных электровозах, городском транспорте и др. Падение напряжения в обмотке возбуждения при номинальном токе составляет единицы процентов от номинального напряжения.

Двигатели смешанного возбуждения из-за наличия последовательной обмотки в некоторой мере имеют свойства двигателей последовательного возбуждения. В настоящее время они практически не применяются.

## Задание 3. Назначение, области применения, основные технические характеристики высоковольтных выключателей.

**Высоковольтный выключатель** - коммутационный аппарат, предназначенный для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме, в нормальных или аварийных режимах, при ручном или автоматическом управлении.

В соответствии с ГОСТ Р 52565-2006 выключатели характеризуются следующими параметрами:

- номинальное напряжение  $U_{ном}$  (напряжение сети, в которой работает выключатель);
- номинальный ток  $I_{ном}$  (ток через включенный выключатель, при котором он может работать длительное время);



- номинальный ток отключения  $I_{o,ном}$  - наибольший ток короткого замыкания (действующее значение), который выключатель способен отключить при напряжении, равном наибольшему рабочему напряжению при заданных условиях восстанавливающегося напряжения и заданном цикле операций;
- допустимое относительное содержание апериодического тока в токе отключения;
- если выключатели предназначены для автоматического повторного включения (АПВ), то должны быть обеспечены циклы:
  - ✓ Цикл 1: О- $t_{бп}$ -ВО-180 с-ВО;
  - ✓ Цикл 2: О - 180 с – ВО - 180 с - ВО,

где О - операция отключения, ВО - операция включения и немедленного отключения, 180 - промежуток времени в секундах,  $t_{бп}$  - гарантируемая для выключателей минимальная бестоковая пауза при АПВ (время от погасания дуги до появления тока при последующем включении) Для выключателей с АПВ должно быть в пределах 0,3-1,2 с, для выключателей с БАПВ (быстродействующей) 0,3 с.

- устойчивость при сквозных токах КЗ, которая характеризуется токами термической стойкости  $I_t$  и предельным сквозным током
- номинальный ток включения - ток КЗ, который выключатель с соответствующим приводом способен включить без приваривания контактов и других повреждений при Уном и заданном цикле.
- собственное время отключения - промежуток времени от момента подачи команды на отключение до момента начала расхождения дуго-гасительных контактов.
- параметры восстанавливающегося напряжения при номинальном токе отключения - скорость восстанавливающегося напряжения, нормированная кривая, коэффициент превышения амплитуды и восстанавливающегося напряжения.

#### Задание 4. Решение:

1) По заданному магнитному потоку определяем магнитную индукцию в сердечнике

$$B = \Phi / S = 8 \cdot 10^{-4} / 750 \cdot 10^{-6} = 1,1 \text{ Тл}$$

2) По кривой намагничивания для литой стали определяем напряженность магнитного поля в сердечнике для вычисленного значения индукции  $H = 500 \text{ А/м}$

3) Величину тока определяем из уравнения закона полного тока  $IW = HI$ .

$$I = \frac{HI}{W} = \frac{500 \cdot 0,34}{1000} = 0,22 \text{ А}$$

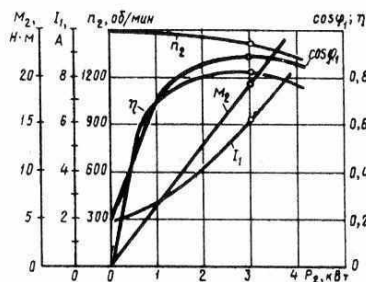
где  $l = 2 \cdot (120-25) + 2 \cdot (100 - 25) = 340 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

4) Магнитная проницаемость литой стали определяется отношением

$$\mu_r = \frac{B}{H\mu_0} = \frac{1,1}{500 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 1752$$

#### Экзаменационный билет № 27

Задание 1. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.



Рабочие характеристики асинхронного двигателя представляют собой графически выраженные зависимости частоту вращения  $n_2$ , КПД  $\eta$ , полезного момента (момента на валу)  $M_2$ , коэффициента мощности  $\cos \varphi_1$ , и тока статора  $I_1$  от полезной мощности  $P_2$  при  $U_1 = \text{const}$  и  $f_1 = \text{const}$ .

Скоростная характеристика  $n_2 = f(P_2)$ . Частота вращения ротора асинхронного двигателя  $n_2 = n_1(1-s)$

Скольжение  $s = P_{\Sigma 2}/P_{\Sigma M}$

т. е. скольжение двигателя, а следовательно, и его частота вращения определяются отношением электрических потерь в роторе к электромагнитной мощности  $P_{\Sigma M}$ . Пренебрегая электрическими потерями в роторе в режиме холостого хода, можно принять  $P_{\Sigma 2} = 0$ , а поэтому  $s_0 \approx 0$  и  $n_{20} \approx n_1$ . По мере увеличения нагрузки на валу двигателя отношение  $P_{\Sigma 2}/P_{\Sigma M}$  растет, достигая значений 0,01...0,08 при номинальной нагрузке. В соответствии с этим зависимость  $n_2 = f(P_2)$  представляет собой кривую, слабо наклоненную к оси абсцисс. Однако при увеличении активного сопротивления ротора  $r_2'$  угол наклона этой кривой увеличивается. В этом случае изменения частоты вращения  $n_2$  при колебаниях нагрузки  $P_2$  возрастают. Объясняется это тем, что с увеличением  $r_2'$  возрастают электрические потери в роторе.

Зависимость  $M_2 = f(P_2)$ . Зависимость полезного момента на валу двигателя  $M_2$  от полезной мощности  $P_2$  определяется выражением

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{60P_2}{2\pi n_2} = 9,55 \frac{P_2}{n_2}$$

где  $P_2$  - полезная мощность, Вт;

$\omega_2 = 2\pi f_2/60$  - угловая частота вращения ротора.

Из этого выражения следует, что если  $n_2 = \text{const}$ , то график  $M_2 = f_2(P_2)$  представляет собой прямую линию. Но в асинхронном двигателе с увеличением нагрузки  $P_2$  частота вращения ротора уменьшается, а поэтому полезный момент на валу  $M_2$  с увеличением нагрузки возрастает несколько быстрее нагрузки, а следовательно, график  $M_2 = f(P_2)$  имеет криволинейный вид.

Зависимость  $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ . В связи с тем что ток статора  $I_1$  имеет реактивную (индуктивную) составляющую, необходимую для создания магнитного поля в статоре, коэффициент мощности асинхронных двигателей меньше единицы. Наименьшее значение коэффициента мощности соответствует режиму х.х. Объясняется это тем, что ток х.х.  $I_0$  при любой нагрузке остается практически неизменным. Поэтому при малых нагрузках двигателя ток статора невелик и в значительной части является реактивным. При увеличении нагрузки на валу двигателя растет активная составляющая тока  $I_1$  и коэффициент мощности возрастает, достигая наибольшего значения (0,80...0,90) при нагрузке, близкой к номинальной. Дальнейшее увеличение нагрузки сопровождается уменьшением  $\cos \varphi_1$ , что объясняется возрастанием индуктивного сопротивления ротора за счет увеличения скольжения, а следовательно, и частоты тока в роторе. В целях повышения коэффициента мощности асинхронных двигателей чрезвычайно важно, чтобы двигатель работал всегда или по крайней мере значительную часть времени с нагрузкой, близкой к номинальной.

**Задание 2.** Коммутация в машинах постоянного тока. Способы улучшения коммутации.

При работе машины постоянного тока щетки и коллектор образуют скользящий контакт. Площадь контакта щетки выбирают по значению рабочего тока машины, приходящегося на одну щетку, в соответствии с допустимой плотностью тока для выбранной марки щеток. Если по какой-то причине щетка прилегает к коллектору не всей поверхностью, то возникают чрезмерные местные плотности тока, приводящие к искрению на коллекторе.

Причины, вызывающие искрение на коллекторе, разделяют на механические, потенциальные, коммутационные.

**Механические причины искрения** - слабое давление щеток на коллектор, биение коллектора, его эллиптичность или негладкая поверхность, загрязнение поверхности коллектора, выступание миканитовой изоляции над медными пластинами, неплотное закрепление траверсы, пальцев или щеткодержателей, а также другие причины, вызывающие нарушение электрического контакта между щеткой и коллектором.

**Потенциальные причины искрения** появляются при возникновении напряжения между смежными коллекторными пластинами, превышающего допустимое значение. В этом случае искрение наиболее опасно, так как оно обычно сопровождается появлением на коллекторе электрических дуг.

**Коммутационные причины искрения** создаются физическими процессами, происходящими в машине при переходе секций обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую.

Иногда искрение вызывается целым комплексом причин. Выяснение причин искрения следует начинать с механических, так как их обнаруживают осмотром коллектора и щеточного устройства. Труднее обнаружить и устранить коммутационные причины искрения.

При выпуске готовой машины с завода в ней настраивают темную коммутацию, исключаящую какое-либо искрение. Однако в процессе эксплуатации машины, по мере износа коллектора и щеток, возможно появление искрения. В некоторых случаях оно может быть значительным и опасным, тогда машину необходимо остановить для выяснения и устранения причин искрения. Однако небольшое искрение в машинах общего назначения обычно допустимо.

*Согласно ГОСТу, искрение на коллекторе оценивается степенью искрения (классом коммутации) под сбегающим краем щетки.*

**Степень 1** - искрения нет (темная коммутация).

**Степень 1<sup>1/4</sup>** - слабое искрение под небольшой частью щетки, не вызывающее почернения коллектора и появления нагара на щетках.

**Степень 1<sup>1/2</sup>** - слабое искрение под большей частью щетки, приводящее к появлению следов почернения на коллекторе, легко устранимого протиранием поверхности коллектора бензином, и следов нагара на щетках.

**Степень 2** - искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и при перегрузке. Приводит к появлению следов почернения на коллекторе, не устранимых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках.

**Степень 3** - значительное искрение под всем краем щетки с появлением крупных вылетающих искр, приводящее к значительному почернению коллектора, не устранимое протиранием поверхности коллектора бензином, а также к подгару и разрушению щеток.

Допускается только для моментов прямого (безреостатного) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы.

Если допустимая степень искрения в паспорте электрической машины не указана, то при номинальной нагрузке она не должна превышать 1<sup>1/2</sup>.

При вращении якоря машины постоянного тока коллекторные пластины поочередно вступают в соприкосновение со щетками. При этом переход щетки с одной пластины (сбегающей) на другую (набегающую) сопровождается переключением секции обмотки из одной параллельной ветви в другую и изменением как значения, так и направления тока в этой секции. Процесс переключения секции из одной параллельной ветви в другую и сопровождающие его явления называются **коммутацией**.

Секция, в которой происходит коммутация, называется **коммутирующей**, а продолжительность процесса коммутации - **периодом коммутации**:

$$T_k = \frac{60}{Kn} \cdot \frac{b_{щ}}{b_k}$$

где  $b_{щ}$  - ширина щетки;  $K$  - число коллекторных пластин;  $n$  - частота вращения якоря, об/мин;  $b_k$  - расстояние между серединами соседних коллекторных пластин (коллекторное деление).

Существует 2 вида коммутации: прямолинейная и криволинейная замедленная. Коммутация, при которой ток в коммутирующей секции изменяется по прямолинейному закону, называется прямолинейной (идеальной) коммутацией. При прямолинейной коммутации пластина коллектора выходит из-под щетки без разрыва тока и благодаря этому этот вид коммутации не сопровождается искрением на коллекторе. При криволинейной замедленной коммутации плотность тока под щеткой в начале и в конце периода коммутации неодинакова.

Способы улучшения коммутации: Выбор щеток, уменьшение реактивной ЭДС, добавочные полюсы.

**Задание 3.** Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции масляных выключателей.

Различают масляные выключатели двух видов – баковые и маломасляные. Методы деионизации дугового промежутка в этих выключателях одинаковы. Различие заключается лишь в изоляции контактной системы от заземленного основания и в количестве масла.

Основные недостатки баковых выключателей: взрыво- и пожароопасность; необходимость периодического контроля за состоянием и уровнем масла в баке и вводах; большой объем, масла, что обуславливает большую затрату времени на его замену, необходимость больших запасов масла; непригодность для установки внутри помещений.

Маломасляные выключатели (горшковые) получили широкое распространение в закрытых и открытых распределительных устройствах всех напряжений. Масло в этих выключателях в основном служит дугогасящей средой и только частично изоляцией между разомкнутыми контактами.

Изоляция токоведущих частей друг от друга и от заземленных конструкций осуществляется фарфором или другими твердыми изолирующими материалами. Контакты выключателей для внутренней установки находятся в стальном бачке (горшке), отсюда сохранилось название выключателей «горшковые».

Маломасляные выключатели напряжением 35 кВ и выше имеют фарфоровый корпус. В этих выключателях корпус крепится на фарфоровых изоляторах к общей раме для всех трех полюсов. В каждом полюсе предусмотрен один разрыв контактов и дугогасительная камера.

Конструктивные схемы маломасляных выключателей 1 – подвижный контакт; 2 – дугогасительная камера; 3 – неподвижный контакт; 4 – рабочие контакты.

**Задание 4.** Рассчитать электрическую линию однофазного переменного тока для питания группы ламп мощностью  $P = 3,5$  кВт при напряжении питающей сети  $U_{ном} = 220$  В и протяженностью линии  $L = 30$  м. Условия прокладки линии - в трубе, материал ее проводов – медь. Выбрать предохранители и токи плавких вставок для защиты от КЗ.

Решение:

1) Определим максимальный ток нагрузки линии

$$I_p = P_n / U_n \cos \varphi = 3500 / (220 \cdot 1) = 15,9 \text{ А}$$

2) Сечение проводов марки ПВ выбираем по условию нагрева длительным током по формуле:

$$I_{доп} \geq I_p,$$

где  $I_{доп}$  - допустимый ток на стандартное сечение проводника, А;

3) Выбираем способ прокладки в трубе, провод трехжильный, сечением  $1,5 \text{ мм}^2$ , т.е. ПВ(2× 1,5)  $I_{доп} = 18$  А;

$$I_{доп} = 18 \text{ А} \geq I_p = 15,9 \text{ А},$$

условие выполняется

4) Определим потерю напряжения в сети по формуле:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \% = \frac{200 \cdot I \cdot l}{U_n} \cdot r_0 \cos \varphi$$

$r_0 = 0,12,25$  - активное сопротивления линии, Ом/км;

$x_0 = 0,0625$  - индуктивное сопротивления линии, Ом/км;

$$\Delta U \% = \frac{200 \cdot 15,9 \cdot 0,03}{220} \cdot 12,25 \cdot 1 = 5,0 \%$$

5) По справочной таблице подбираем предохранитель с плавкой вставкой, который удовлетворяет условию

$$I_{ном.пл.вст} \geq I_{пик},$$

$$I_{ном.пл.вст} \geq 15,9 \text{ А},$$

Принимаем к установке предохранитель типа ПР-2  $I_{ном.п} = 25$  А;

$I_{ном.пл.вст} = 20$  А. Условие выполняется.

## Экзаменационный билет № 29

**Задание 1.** Трансформаторы специального назначения.

1) Трансформаторы с плавным регулированием напряжения

Для плавного регулирования напряжения возможно применение скользящих по поверхности витков обмотки контактов, аналогично тому, как это сделано в регулировочном автотрансформаторе. При этом плавность регулировки ограничивается значением напряжения между двумя смежными витками (0,5...1,0 В). По такому принципу выполняют однофазные и трехфазные трансформаторы и автотрансформаторы мощностью до 250 кВ·А. Однако наличие скользящих контактов снижает надежность и ограничивает применение этих трансформаторов.

Более надежны бесконтактные конструкции регулировочных трансформаторов.

*Трансформатор с подвижным сердечником.*

*Трансформатор, регулируемый подмагничиванием шунтов.*

2) Трансформаторы для выпрямительных установок

Во вторичные обмотки этих трансформаторов включены вентили - устройства, обладающие односторонней проводимостью.

3) Трансформаторы для автоматических устройств

Импульсные трансформаторы. Применяются в устройствах импульсной техники для изменения амплитуды импульсов, исключения постоянной составляющей, размножения импульсов и т. п. Одно из основных требований, предъявляемых к импульсным трансформаторам, - минимальное искажение формы трансформируемых импульсов.

*Пик-трансформаторы.* Предназначены для преобразования напряжения синусоидальной формы в импульсы напряжения пикообразной формы. Такие импульсы напряжения необходимы в цепях управления тиристоров, тиратронов и др. Принцип работы пик-трансформатора основан на явлении магнитного насыщения ферромагнитного материала.

*Преобразователи частоты.* Распространение получили трансформаторы, с помощью которых возможно удвоение или утроение частоты переменного тока.

4) Трансформаторы для дуговой электросварки

Трансформатор для дуговой электросварки, обычно называемый сварочным трансформатором, представляет собой однофазный двухобмоточный понижающий трансформатор, преобразующий напряжение сети 220 или 380 В в напряжение 60-70 В, необходимое для надежного зажигания и устойчивого горения электрической дуги между металлическим электродом и свариваемыми деталями.

Специфика работы сварочного трансформатора состоит в прерывистом режиме его работы: зажиганию электрической дуги предшествует короткое замыкание вторичной цепи трансформатора, а обрыв дуги создает режим холостого хода.

Номинальный режим работы трансформатора соответствует устойчивому горению электрической дуги.

Для ограничения тока в сварочном трансформаторе приняты меры, суть которых сводится к увеличению индуктивного сопротивления. С этой целью первичную обмотку трансформатора располагают на одном стержне, а вторичную - на другом. Это ведет к росту магнитного рассеяния, а следовательно, к увеличению индуктивного сопротивления обмоток. Другой мерой является включение во вторичную цепь трансформатора последовательно индуктивной катушки - дросселя  $Dp$ , представляющего собой катушку из медного провода прямоугольного сечения, расположенную на стальном магнитопроводе. Дроссель снабжен устройством типа «винт-гайка», позволяющим вращением винта перемещать ярмо так, что воздушный зазор  $\delta$  между ярмом и стержнями меняется от  $\delta = 0$  до  $\delta = \delta_{\max}$ .

В некоторых конструкциях сварочных трансформаторов дроссель совмещают с трансформатором. Значительное индуктивное сопротивление сварочного трансформатора ведет к снижению его коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , который обычно не превышает 0,4-0,5.

**Задание 2.** Схема и характеристики генератора постоянного тока независимого возбуждения.

В генераторах независимого возбуждения основной магнитный поток создается либо постоянным магнитом, либо электромагнитом (обмоткой возбуждения), питаемым от источника постоянного тока.

Схема генератора постоянного тока независимого возбуждения изображена на рисунок 1. Важнейшая особенность этой схемы — независимость тока возбуждения и магнитного потока главных полюсов от нагрузки генератора.

Физические величины, характеризующие работу электрической машины, связаны между собой определенными зависимостями, которые называют характеристиками.

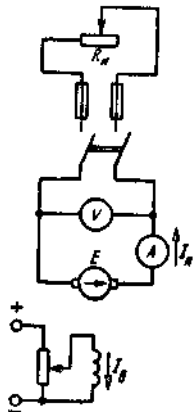


Рисунок 1 - Схема генератора постоянного тока независимого возбуждения

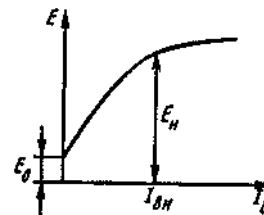


Рисунок 2 - Характеристика холостого хода генератора независимого возбуждения

Основные характеристики генератора независимого возбуждения.

*Характеристикой холостого хода называют зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения при постоянной частоте вращения якоря и отключенной нагрузке:*

$$E = f(I_B) \quad (I = 0, n = \text{const})$$

Ее обычно снимают при номинальной частоте вращения генератора.

Характеристика холостого хода (рисунок 2) представляет собой изображенную в другом масштабе часть петли гистерезиса магнитной системы генератора. Поскольку ЭДС пропорциональна магнитной индукции, а напряженность магнитного поля - току возбуждения, зависимость  $E(I_B)$  имеет такой же вид, как зависимость  $B(H)$ .

Таким образом, характеристика холостого хода отображает свойства магнитопровода. Поскольку после первоначального намагничивания коэрцитивная сила удерживает в магнитопроводе небольшой остаточный магнитный поток, ЭДС генератора не равна нулю при токе возбуждения, равном нулю. *Эту ЭДС называют остаточной:  $E_0 = E$  при  $I_B = 0$ .*

Изгиб характеристики холостого хода объясняется насыщением магнитопровода. Номинальный ток возбуждения выбирают таким, чтобы он соответствовал участку перегиба характеристики холостого хода. При этом наилучшим образом используется свойство магнитопровода усиливать магнитный поток обмоток возбуждения.

Внешней характеристикой называют зависимость нагрузки на зажимах генератора от тока нагрузки при постоянной частоте вращения и постоянном сопротивлении цепи возбуждения:

$$U = f(I) \quad (n = \text{const}, R_B = \text{const}).$$

При отсутствии размагничивающего действия реакции якоря внешняя характеристика описывается уравнением  $U = E - IR_a$ , представляющим прямую линию в плоскости координатных осей  $U, I$ . При насыщении магнитной системы и наличии размагничивающего действия реакции якоря с увеличением нагрузки ЭДС генератора уменьшается, поэтому напряжение генератора снижается быстрее, чем по закону прямой линии (рисунок 3).

Внешняя характеристика позволяет определить, в каких пределах изменяется напряжение генератора при изменении нагрузки.

Регулировочной характеристикой называют зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при постоянных частоте вращения и напряжении на зажимах генератора:

$$I = f(I) \quad (n = \text{const}, U = \text{const}).$$

Регулировочная характеристика показывает, как нужно изменять ток возбуждения, чтобы поддерживать постоянным напряжение генератора при изменении его нагрузки.

С увеличением тока нагрузки напряжение генератора уменьшается. Чтобы поддерживать его постоянным, необходимо увеличивать ЭДС. При постоянной частоте вращения это достигается увеличением магнитного потока, а, следовательно, и тока возбуждения (рисунок 4).

Регулировочные характеристики используют при проектировании регуляторов напряжения

Генераторы независимого возбуждения находят применение в схемах автоматики, в двигатель-генераторных агрегатах, когда требуется изменять не только значение, но и полярность напряжения на зажимах, а также в качестве тахогенераторов, предназначенных для дистанционного измерения частоты вращения.

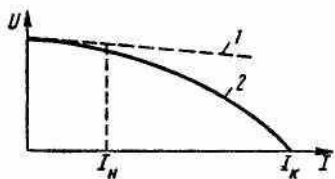


Рисунок 3 - Внешние характеристики генератора независимого возбуждения при отсутствии (прямая 1) и наличии (кривая 2) размагничивающего действия реакции якоря

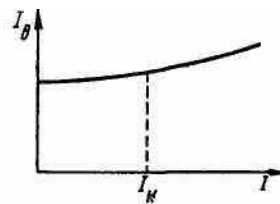


Рисунок 4 - Регулировочная характеристика генератора независимого возбуждения

Недостатком этих машин является необходимость иметь отдельный источник энергии для питания обмотки возбуждения или постоянные магниты.

**Задание 3.** Назначение, устройство, принцип работы и основные элементы конструкции токоограничивающих реакторов.

**Токоограничивающий реактор** - электрический аппарат, предназначенный для ограничения ударного тока короткого замыкания. Включается последовательно в цепь, ток которой нужно ограничивать и работает как индуктивное (реактивное) дополнительное сопротивление, уменьшающее ток и поддерживающее напряжение в сети при коротком замыкании, что увеличивает устойчивость генераторов и системы в целом.

Реактор - это катушка с постоянным индуктивным сопротивлением, включенная в цепь последовательно. В большинстве конструкций токоограничивающие реакторы не имеют ферромагнитных сердечников. В нормальном режиме на реакторе наблюдается падение напряжения порядка 3—4 %, что вполне допустимо. В случае короткого замыкания большая часть напряжения приходится на реактор. Соответственно, чем выше будет реактивное сопротивление, тем меньше будет значение максимального ударного тока в сети.

Реактивность прямо пропорциональна индуктивному сопротивлению катушки. При больших токах у катушек со стальными сердечниками происходит насыщение сердечника, что резко снижает реактивность, и, как следствие, реактор теряет свои токоограничивающие свойства. По этой причине реакторы выполняют без стальных сердечников, несмотря на то, что при этом, для поддержания такого же значения индуктивности, их приходится делать больших размеров и массы. В случае если в линии электропередач 0,4...110 кВ имеются устройства передачи данных по технологии PLC, то реактор будет гасить эти частоты.

Токоограничивающие реакторы подразделяются:

- по месту установки: наружного применения и внутреннего;
- по напряжению: среднего (3...35 кВ) и высокого (110...500 кВ);
- по конструктивному исполнению: на бетонные, сухие, масляные и броневого;
- по расположению фаз: вертикальное, горизонтальное и ступенчатое;
- по исполнению обмоток: одинарные и сдвоенные;
- по функциональному назначению: фидерные, фидерные групповые и межсекционные.

**Задание 4. Решение**

1) Напряженность магнитного поля, созданная током катушки, для однородной магнитной цепи

$$H = \frac{IW}{l} = \frac{2 \cdot 500}{0,5} = 2000 \text{ A/m}$$

где  $l$  - длина средней линии кольцевого сердечника.

$$l = 2\pi R = 2\pi \cdot 180 \cdot 10^{-3} = 0,5 \text{ м}$$

2) По кривой намагничивания электротехнической стали определяем

$$B = 1,7 \text{ Тл}$$

3) Магнитный поток в сердечнике

$$\Phi = B \cdot S = 1,7 \cdot 28,26 \cdot 10^{-4} = 0,048 \text{ Вб}$$

$$\text{где } S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (60 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 28,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

### Экзаменационный билет № 30

**Задание 1.** Пусковые свойства асинхронного двигателя.

Пуск асинхронных двигателей. Проблемы, возникающие при пуске асинхронных двигателей, близки к проблемам пуска двигателей постоянного тока. Общим является факт протекания большого пускового тока, что опасно в отношении перегрева обмоток статора и ротора. При пуске также снижается напряжение сети, отрицательно влияющее на работу других потребителей. Существует несколько способов пуска асинхронных двигателей.

Для двигателей с фазным ротором применяется **реостатный пуск**, для двигателей с короткозамкнутым ротором - **прямой пуск от сети**, **пуск от пониженного напряжения** - **при помощи реактора** или **автотрансформатора**, включенного в цепь статора, **пуск с плавным подъемом частоты** (и напряжения).

Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором с помощью реостата в цепи ротора аналогичен реостатному пуску двигателя постоянного тока. При этом уменьшается пусковой ток и увеличивается пусковой момент (до определенного предела увеличения сопротивления в цепи ротора). Физически это объясняется тем, что хотя при введении активного сопротивления ток ротора уменьшается, активная составляющая тока и, следовательно, момент в соответствии с формулой

$$M = C\Phi I_2 \cos \varphi_2$$

увеличивается. Для уменьшения числа ступеней пускового реостата в цепь ротора асинхронного двигателя включают дроссель, шунтированный активным сопротивлением (рис. 1, а).

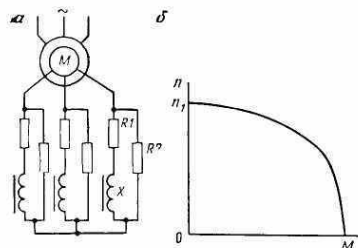


Рисунок 1 – Пуск АД с активно-индуктивным контуром в цепи ротора

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проще по устройству и обслуживанию, а также дешевле и надежнее в работе, чем двигатели с фазным ротором. Поэтому везде, где это возможно, применяют короткозамкнутые двигатели.

Прямой пуск, при котором обмотка статора двигателя подключается на номинальное напряжение сети, широко применяется в нефтяной промышленности. Современные асинхронные короткозамкнутые двигатели по возникающим при пуске электродинамическим усилиям и условиям нагрева допускают прямой пуск. Поэтому такой способ пуска всегда возможен, если сеть достаточно мощная и пусковые токи не вызывают недопустимо больших потерь напряжения в сети (не более 10%).

Пусковые свойства асинхронных короткозамкнутых двигателей можно характеризовать коэффициентом качества пуска, который представляет собой отношение кратности пускового момента к кратности пускового тока, т. е.

$$\gamma = (M_n/M_n) / (I_n/I_n)$$

Для двигателей обычного исполнения  $\gamma = 0,15 \dots 0,25$ . Для увеличения  $\gamma$  асинхронные короткозамкнутые двигатели изготавливают с глубоким и узким пазом или с двойной беличьей



клеткой. Для глубокопазных двигателей  $\gamma = 0,27... 0,33$ , а для двигателей с двойной беличьей клеткой  $\gamma = 0,36-0,5$ . Однако к. п. д. и коэффициент мощности этих двигателей ниже двигателей обычного исполнения.

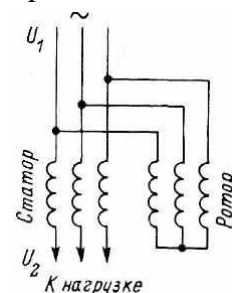
Если прямой пуск от сети короткозамкнутого двигателя невозможен, то применяют один из способов пуска при пониженном напряжении (через автотрансформатор или реактор). Сначала двигатель разгоняется при пониженном напряжении, а затем после достижения установившейся частоты вращения подается полное напряжение.

Пуск двигателя плавным подъемом частоты и напряжения применяется в том случае, когда асинхронный двигатель питается от управляемого источника переменного тока (тиристорного преобразователя частоты). При таком пуске по мере разгона двигателя увеличивают частоту тока, а напряжение увеличивают таким образом, чтобы пусковой ток оставался все время неизменным. Подобный способ пуска находит применение для погружных электродвигателей центробежных насосов.

**Задание 2.** Назначение, устройство и принцип действия асинхронной машины специального назначения.

**Индукционный регулятор** напряжения (ИР), используемый для регулирования напряжения. Ротор машины должен быть снабжен механическим поворотным устройством.

Схема индукционного регулятора представлена на рисунке. Ротор, а также выводы начала обмотки статора подключены к сети, а к выводам конца обмотки статора присоединяется нагрузка.



Токи ротора создают вращающееся магнитное поле, которое индуцирует в обмотках статора дополнительные ЭДС  $E_2$ , значение и фаза которых зависит от угла поворота ротора  $\alpha$ . В итоге при равенстве числа витков в обмотках напряжение на выходе  $U_2$  можно регулировать от нуля (при  $\alpha = 180^\circ$ ) до двойного напряжения сети (при  $\alpha = 0$ ).

Недостаток рассмотренного простейшего регулятора - изменение фазы выходного напряжения. Поэтому иногда используют двоянный индукционный регулятор, состоящий как бы из двух машин, обмотки статоров которых включены последовательно.

**Асинхронный преобразователь частоты.** Как известно, частота тока в роторе асинхронной машины зависит от скольжения ( $f_2 = sf_1$ ). Это свойство асинхронных машин пользуется в асинхронных преобразователях частоты (АПЧ).

Обмотку статора АПЧ подключают к трехфазной сети с частотой  $f_1$ , а ротор приводят во вращение приводным двигателем (ПД) в направлении против вращения поля статора. В этом случае в обмотке ротора наводится ЭДС  $E_2$  частотой  $f_2 > f_1$ , так как скольжение  $s > 1$ . Указанная ЭДС через контактные кольца и щетки создает на выходе АПЧ напряжение. Если требуется получить на выходе АПЧ напряжение частотой  $f_2 < f_1$ , то ротор вращают в направлении вращения поля статора с частотой вращения  $n_2 < n_1$  (при этом  $s < 1$ ).

Мощность на выходе АПЧ складывается из электромагнитной мощности  $P_{эм}$ , передаваемой в обмотку ротора вращающимся полем статора, и механической мощности приводного двигателя  $P_{пд}$ , т. е.  $P_2 = P_{эм} + P_{пд}$ . Соотношение между мощностями  $P_{эм}$  и  $P_{пд}$  зависит от скольжения. Так, при работе АПЧ со скольжением  $s = 2$  эти мощности равны и ротор половину мощности получает от статора, а половину - от приводного двигателя. При необходимости плавной регулировки частоты на выходе АПЧ в качестве приводного двигателя применяют электродвигатель с плавной регулировкой частоты вращения, например двигатель постоянного тока.

**Электрические машины синхронной связи.** В современной технике часто возникает необходимость в синхронизации вращения или поворота осей механизмов. Эта задача успешно решается с помощью системы синхронной связи.

Синхронной связью называют электрическую связь, которая обеспечивает одновременное вращение или одновременный поворот двух (или более) находящихся на расстоянии друг от друга и механически не связанных валов. Распространены два вида систем синхронной связи: система «электрического вала» (синхронного вращения) и система «передачи угла» (синхронного поворота).

Системы электрического вала применяют для синхронного (одновременного) вращения нескольких механизмов, имеющих значительные нагрузочные моменты на валу. Для привода таких механизмов применяют обычные асинхронные двигатели с фазным ротором. При этом обмотки роторов электрически соединяют друг с другом, а обмотки статоров включают в общую сеть трех фазного тока.

Системы передачи угла (синхронного поворота) применяют для дистанционного управления или контроля положения в пространстве каких-либо устройств. Обычно такая система выполняется на небольших асинхронных машинах (однофазных или трехфазных), называемых сельсинами.

Наибольшее применение получили однофазные сельсины. Такой сельсин имеет однофазную обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации, соединенную звездой. Одна из обмоток располагается на роторе, а другая - на статоре.

По конструкции сельсины разделяют на контактные, у которых обмотка на роторе соединена с внешней цепью через контактные кольца и щетки, и бесконтактные, не имеющие на роторе обмоток.

**Асинхронные исполнительные двигатели.** Асинхронные исполнительные двигатели используют в системах автоматического управления для управления и регулирования различных устройств.

Асинхронные исполнительные двигатели начинают действовать при подаче им электрического сигнала, который они преобразуют в заданный угол поворота вала или в его вращение. Снятие сигнала приводит к немедленному переходу ротора исполнительного двигателя в неподвижное состояние без использования каких-либо тормозных устройств. Работа таких двигателей протекает все время в условиях переходных режимов, в результате чего скорость ротора зачастую при кратковременном сигнале не достигает установившегося значения. Этому способствуют также частые пуски, изменения направления вращения и остановки.

По конструктивному оформлению исполнительные двигатели представляют собой асинхронные машины с двухфазной обмоткой статора, выполненной так, что магнитные оси ее двух фаз сдвинуты в пространстве относительно друг друга на угол 90 эл. град.

Одна из фаз обмотки статора является обмоткой возбуждения и имеет выводы к зажимам с обозначением  $C1$  и  $C2$ . Другая, выполняющая роль обмотки управления, имеет выводы, присоединенные к зажимам с обозначениями  $У1$  и  $У2$ .

К обеим фазам обмотки статора подводят соответствующие переменные напряжения одинаковой частоты. Так, цепь обмотки возбуждения присоединяют к питающей сети с неизменным напряжением  $U$ , а в цепь обмотки управления подают сигнал в виде напряжения управления  $U_y$ .

**Линейный двигатель** является электрической машиной, принцип работы которой основан на использовании энергии бегущего магнитного поля. Основное преимущество таких двигателей состоит в отсутствии кинематических цепей для преобразования вращательного движения в линейное, что существенно упрощает конструкцию приводимого в движение механизма и повышает его КПД. Существует большое разнообразие линейных двигателей. В настоящее время больший интерес проявляется к асинхронным линейным двигателям как относительно простым по конструкции.

Эти двигатели можно представить как разрезанную по образующей и развернутую в плоскость обычную асинхронную машину вращательного движения. Развернутый в плоскость статор асинхронного двигателя является первичным элементом, а развернутый ротор вторичным элементом линейного двигателя.

Принцип действия линейного двигателя подобен принципу действия асинхронного двигателя нормального исполнения. Трехфазная обмотка статора создает бегущее магнитное поле, которое индуцирует в короткозамкнутой обмотке подвижной части (бегуна) ЭДС. В результате взаимодействия тока в обмотке бегуна и магнитного поля возникают электромагнитные силы, приводящие бегун в движение.

**Задание 3.** Назначение и область применения бесконтактных электрических аппаратов.

Бесконтактный электрический аппарат, устройство, осуществляющее включение, отключение и переключение тока в электрической цепи не механическим замыканием (размыканием) контактов, а скачкообразным изменением внутреннего сопротивления управляемого элемента, включенного в цепь последовательно с нагрузкой. В качестве такого элемента применяют *магнитные усилители* с обратной связью, работающие в релейном режиме; *полупроводниковые приборы*, меняющие своё сопротивление в зависимости от силы тока управления; некоторые полупроводниковые сопротивления, изменяющие свои параметры при нагреве до определённой температуры, и др. В отличие от контактных аппаратов, в положении «отключено» через Бесконтактный электрический аппарат протекает ток небольшой силы, обусловленный большим, но конечным внутренним сопротивлением управляемого элемента в закрытом состоянии. В положении «включено» это сопротивление резко уменьшается, но остаётся всё же в 10-50 раз больше переходного сопротивления контактного аппарата, вследствие чего Бесконтактный электрический аппарат допускают значительно меньшие токовые перегрузки.

Бесконтактный электрический аппарат устанавливают в цепях защиты электрических сетей, в системах автоматического управления и регулирования и в слаботочных цепях электрических установок. Отсутствие в Бесконтактный электрический аппарат замыкающих и размыкающих электрических контактов способствует их надёжной работе в химически агрессивных, взрывоопасных, пыльных, влажных и др. аналогичных средах. Применение полупроводниковых приборов повышает быстродействие Бесконтактный электрический аппарат (до нескольких *мксек*), увеличивает частоту циклов включений-отключений и удлиняет срок его службы. Для коммутации силовых цепей часто применяют параллельное соединение Бесконтактный электрический аппарат на полупроводниках с контактным выключателем. Бесконтактный электрический аппарат в этом случае обеспечивает все преимущества бесконтактного включения (отключения), а контактный аппарат - длительное пропускание большой силы тока и термическую и динамическую устойчивость при коротких замыканиях.

Бесконтактные полупроводниковые силовые аппараты управления:

- Устройство бесконтактных полупроводниковых аппаратов
- Тиристорные контакторы с естественной коммутацией
- Гибридные или комбинированные силовые аппараты
- Тиристорные пускатели

**Задание 4. Решение:**

1) Предохранитель с плавкой вставкой, должен удовлетворять условию

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq I_{\text{пик}}/\alpha,$$

2) При защите двигателей ответственных механизмов ток плавкой вставки равен  $I_{\text{вст}} = I_{\text{пик}}/1,6$  независимо от условий пуска электродвигателя.

$$I_{\text{ном.пл.вст}} = (6,5 \cdot 42,2)/1,6 = 17,4 \text{ А}$$

предохранитель типа ПН2-50/50 на отключающую способность походит, т.к выполняется условие  $I_{\text{ном.пл.вст}} = 17,4 \text{ А} > 50 \text{ А}$ .

Экзаменационная ведомость.

## 5.2. Критерии оценки

### 5.2.1 виде контрольной работы

Каждый правильный ответ оценивается в 1 балл.

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он набрал – 5 баллов.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он набрал – 4 балла.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал – 3 балла.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал – от 0 – 2 баллов.

### 5.2.2 в виде экзамена

К критериям оценки уровня подготовки студента относятся:

- уровень освоения студентом материала, предусмотренного учебной программой по ПМ01. МДК01.01;
- уровень сформированности общих и профессиональных компетенций;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать научные практические задачи;
- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа при соблюдении принципа полноты его содержания;
- умение выделять существенные положения МДК;
- умение формулировать конкретные положения МДК;
- умение связать теорию с практикой;
- умение делать обобщения, выводы;
- общий (культурный) и специальный (профессиональный) язык ответа.
- обладание необходимыми личностными качествами.

Критерии оценки:

- Каждый полно и правильно представленный ответ на теоретический вопрос – 5 баллов;
- Правильно и в полном объёме выполненное расчётное задание – 5 баллов;
- Правильный и полный ответ на дополнительный вопрос – 5 баллов;
- Максимальное количество баллов – 25.

Количество набранных баллов	оценка
23-25	5 (отлично)
17 – 22	4 (хорошо)
13 – 16	3 (удовлетворительно)
менее 13	2 (неудовлетворительно)

Для получения оценки **«отлично»** обучающийся должен:

- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;
- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;
- правильно формулировать определения;
- продемонстрировать умения самостоятельной работы с технической литературой;
- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.

Для получения оценки **«хорошо»** обучающийся должен:

- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;
- продемонстрировать знание основных теоретических понятий;
- достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;
- продемонстрировать умение ориентироваться в технической литературе;
- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.

Для получения оценки «удовлетворительно» обучающийся должен:

- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;
- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;
- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;
- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае:

- незнания значительной части программного материала;
- не владения понятийным аппаратом дисциплины;
- существенных ошибок при изложении учебного материала;
- неумения строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;
- неумения делать выводы по излагаемому материалу.

## **7. Приложения. Задания для оценки освоения дисциплины**

### **7.1. в виде контрольной работы**

Вариант 1

- 1) Какие трансформаторы используются для питания электроэнергией жилых помещений?
  - 1) силовые;
  - 2) измерительные;
  - 3) специальные;
- 2) Частота сети  $f = 500$  Гц. Какова частота вращения двухполюсного и четырехполюсного вращающихся магнитных полей?
  - 1) 60 000 об/мин; 30 000 об/мин
  - 2) 30 000 об/мин; 15 000 об/мин
  - 3) 30 000 об/мин; 60 000 об/мин
- 3) В каком соотношении находятся частота вращения магнитного поля  $n_1$  синхронного двигателя и частота вращения ротора  $n_2$ ?
  - 1)  $n_1 = n_2$ ;
  - 2)  $n_1 > n_2$ ;
  - 3)  $n_1 < n_2$ ;

- 4) Трехфазный трансформатор имеет число витков на фазу в первичной обмотке  $W_1=1730$ , вторичной  $W_2=50$ . Определите линейный коэффициент трансформации при следующих группах соединений:

$\Delta/Y$	$Y/Y$	$Y/\Delta$

- 5) Поясните, чему равна частота вращения магнитного поля (об/мин) асинхронного электродвигателя, подключенного к сети переменного тока частотой 50 Гц при числе пар полюсов:

$p = 2$	$p = 3$	$p = 6$

Вариант 2

- 1) Каково амплитудное значение магнитного потока, если  $\Phi = 0,01 \cos \omega t$ 
  - 1) 0,01 Вб;
  - 2)  $0,01/\sqrt{2}$  Вб;
  - 3)  $0,01 \sqrt{2}$  Вб;
- 2) Как определить скольжение  $s$  асинхронного двигателя, если известны  $n_1$  – частота вращения магнитного поля,  $n_2$  - частота вращения ротора?
  - 1)  $s = n_1 / n_2$
  - 2)  $s = (n_2 / n_1) \cdot 100\%$
  - 3)  $s = (n_1 - n_2) / n_1$
- 3) Двухполюсный ротор синхронного генератора вращается с частотой 3000 об/мин. Какова частота напряжения сети?
  - 1) 50 Гц;
  - 2) 100 Гц;
  - 3) 6) 500 Гц;
- 4) Какой закон лежит в основе принципа действия трансформатора?
  - 1) закон Джоуля-Ленца;
  - 2) закон Ампера;
  - 3) закон электромагнитной индукции;
  - 4) закон Ома.
- 5) Определить коэффициент трансформации трансформатора ТМ-63/10, если он понижает напряжение до 0,4кВ.

### Вариант 3

1) Чему равно напряжение на вторичной обмотке трансформатора при холостом ходе?

- 1)  $U_{20} = U_{2\text{ном}}$ ;
- 2)  $U_{20} = 0$ ;
- 3)  $U_{20} = (0,03 - 0,1)U_{2\text{ном}}$ ;

2) Чем отличается асинхронный двигатель с фазным ротором от двигателя с короткозамкнутым ротором?

- 1) наличием контактных колец и щеток;
- 2) наличием пазов для охлаждения;
- 3) числом катушек обмотки статора;

3) Какое число полюсов должно быть у синхронного генератора, имеющего частоту генерируемого тока  $f = 50$  Гц, если его ротор вращается с частотой  $n = 125$  об/мин.

- 1) 24 полюса;
- 2) 36 полюсов;
- 3) 48 полюсов;

4) Укажите, какое число пар полюсов должен иметь асинхронный электродвигатель, питающийся от сети переменного напряжения с частотой 50 Гц, при частоте вращения (об/мин) магнитного поля статора:

$n_1 = 750$ об/мин	$n_1 = 600$ об/мин	$n_1 = 500$ об/мин

5) Понижающий трансформатор со 110 витками во вторичной обмотке понижает напряжение от 22 000 В до 110 В. Сколько витков в его первичной обмотке?

### Вариант 4

1) Чему равна активная мощность, потребляемая трансформатором при холостом ходе?

- 1) номинальной мощности трансформатора;
- 2) нулю;
- 3) мощности потерь в стали сердечника;

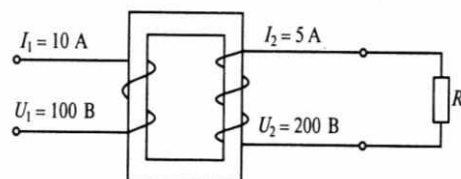
2) Как изменится ток в обмотке ротора при увеличении механической нагрузки на валу двигателя?

- 1) увеличится;
- 2) не изменится;
- 3) уменьшится;

3) Каков КПД синхронного генератора, если суммарная мощность потерь  $\Sigma P$  составляет 8% от полезной мощности, отдаваемой им?

- 1) 0,9;
- 2) 0,926;
- 3) 0,95;

4) Схема какого трансформатора показана рисунке?



- 1 – понижающего;
- 2 – повышающего;
- 4 – разделительного;
- 3 – для ответа недостаточно данных;

5) Определить число витков вторичной обмотки трехфазного трансформатора (Y/Y), если в первичной  $w_1=1000$  и коэффициент трансформации  $k = 25$ .

### Вариант 5

- 1) Как проводится опыт короткого замыкания трансформатора?
  - 1) при закороченной вторичной обмотке и первичном напряжении  $U_1 = U_{1ном}$ ;
  - 2) при закороченной вторичной обмотке и пониженном первичном напряжении  $U_1 = U_{1кз}$ ;
  - 3) при вторичной обмотке, замкнутой на номинальную нагрузку, и напряжении  $U_1 = U_{1ном}$ ;

2) Каким будет скольжение при частоте вращения магнитного поля 3000 об/мин и частоте вращения ротора 2940 об/мин

- 1) 0,2%
- 2) 2%
- 3) 20 %

3) При выполнении каких приведенных условий зависимость  $U = f(I)$  является внешней характеристикой синхронного генератора?

- 1)  $n = \text{const}$ ;
- 2)  $\cos\varphi = \text{const}$ ;
- 3)  $I_B = \text{const}$ ;
- 4) всех ранее перечисленных условий.

4) Укажите, какой из указанных электродвигателей (при питании от сети переменного тока промышленной частоты) обеспечит номинальную частоту вращения (об/мин), равную:

3000 об/мин;	750 об/мин;	1500 об/мин;	1000 об/мин;

5) Сколько витков должна иметь первичная катушка трансформатора, чтобы повысить напряжение от 10 до 50 В, если во вторичной обмотке 80 витков?

### Вариант 6

1) От каких электрических параметров зависят потери мощности в стали трансформатора?

- 1) от тока первичной обмотки;
- 2) от тока вторичной обмотки;
- 3) от первичного напряжения, подводимого к трансформатору;

2) Какова частота вращения ротора, если  $s = 0,05$ ;  $p = 1$ ;  $f = 50$  Гц?

- 1) 3000 об/мин;
- 2) 1425 об/мин;
- 3) 2850 об/мин;

3) Чем отличается синхронный двигатель от асинхронного?

- 1) устройством статора;
- 2) устройством ротора;
- 3) устройством статора и ротора.

4) На рисунке показаны возможные схемы соединения первичных и вторичных обмоток трехфазных трансформаторов. Поясните, какая из схем соответствует соединению:

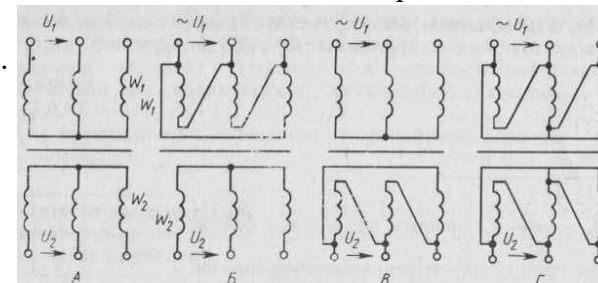


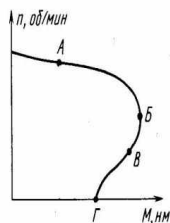
Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4

5) Определить КПД асинхронного трехфазного двигателя, имеющего номинальную мощность  $P_2 = 200$  кВт, мощность холостого хода  $P_x = 7,8$  кВт и короткого замыкания  $P_k = 5,6$  кВт.



Вариант 7

- 1) Когда КПД трансформатора имеет максимальное значение?
  - 1) при номинальной нагрузке трансформатора;
  - 2) при работе трансформатора вхолостую;
  - 3) когда переменные потери мощности в меди равны постоянным потерям мощности в стали;
- 2) Как изменится скольжение, если увеличить момент механической нагрузки на валу двигателя?
  - 1) увеличится;
  - 2) не изменится;
  - 3) уменьшится;
- 3) Как можно регулировать скорость вращения синхронного двигателя?
  - 1) изменением напряжения на статоре;
  - 2) изменением тока возбуждения ротора;
  - 3) изменением частоты напряжения статора;
- 4) На механической характеристике асинхронного электродвигателя укажите точки, соответствующие:
  - 1) пусковому моменту;
  - 2) критическому моменту;
  - 3) номинальному моменту;



1	2	3

- 5) Трехфазный трансформатор мощностью  $S = 250 \text{ кВА}$  подключен к сети  $U_1 = 6 \text{ кВ}$ . Определите номинальный ток во вторичной обмотке.

Вариант 8

- 1) Как изменится ток в первичной обмотке трансформатора при увеличении тока вторичной обмотки?
  - 1) увеличится;
  - 2) уменьшится;
  - 3) останется без изменения;
- 2) Какое скольжение асинхронного двигателя называется критическим?
  - 1) максимальное скольжение двигателя;
  - 2) скольжение при работе двигателя в холостую;
  - 3) скольжение, при котором двигатель развивает критический, т.е. максимальный момент;
- 3) Как называется синхронный генератор, приводимый в движение паровую турбину?
  - 1) гидрогенератор;
  - 2) турбогенератор;
  - 3) дизель генератор;
- 4) Вращающий момент электродвигателя при частоте вращения ротора асинхронного 1000 об/м был равен  $50 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Чему будет равна мощность электродвигателя (кВт), момент которого также равен  $50 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , при частотах вращения ротора (об/мин):

$n_2 = 500 \text{ об/мин}$	$n_2 = 1500 \text{ об/мин}$	$n_2 = 2300 \text{ об/мин}$

- 5) Однофазный понижающий трансформатор имеет число витков первичной обмотки  $w = 600$  и коэффициент трансформации  $K = 20$ . Определите число витков вторичной обмотки.

Вариант 9

- 1) Посредством каких полей осуществляется передача электрической энергии в трансформаторе из первичной обмотки во вторичную?
  - 1) электрического и магнитного;
  - 2) электрического;
  - 3) магнитного;
  
- 2) Какие двигатели переменного тока называются асинхронными?
  - 1) у которых скорость вращения ротора равна скорости вращения магнитного поля;
  - 2) у которых скорость вращения ротора меньше скорости вращения магнитного поля;
  - 3) у которых скорость вращения ротора больше скорости вращения магнитного поля;
  
- 3) Что такое ОКЗ (отношение короткого замыкания) синхронной машины?
  - 1)  $ОКЗ = I_{в0,ном} / I_{в.к.ном}$ ;
  - 2)  $ОКЗ = I_{в.к.ном} / I_{в.0.ном}$ ;
  - 3)  $ОКЗ = E_0 / U_{1ном}$ .
  
- 4) Трехфазный трансформатор имеет число витков на фазу в первичной обмотке  $\omega_1=2000$ , вторичной  $\omega_2= 200$ , подключен к трехфазной сети с линейным напряжением 380 В. Определите:
  - 1) линейный коэффициент трансформации при соединении обмоток Y/Δ ;
  - 2) линейный коэффициент трансформации при соединении обмоток Y/Y;
  - 3) вторичное линейное напряжение при соединении обмоток Y/Δ ;
  - 4) вторичное линейное напряжение при соединении обмоток Y/Y.

1	2	3	4

- 5) Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором вращается с частотой  $n_2 = 2950$  об/мин. Определить число пар полюсов и скольжение, если синхронная частота вращения магнитного поля  $n_1 = 3000$  об/мин.

Вариант 10

- 1) Как изменятся потери мощности в стали при увеличении нагрузки трансформатора?
  - 1) останутся без изменения;
  - 2) увеличатся;
  - 3) уменьшится;
  
- 2) Как можно изменить направление вращения магнитного поля трехфазного тока в асинхронном двигателе?
  - 1) это не возможно;
  - 2) поменять местами две любые фазы;
  - 3) поменять местами три любые фазы;
  
- 3) Что такое коэффициент статической перегружаемости?
  - 1) отношение максимального электромагнитного момента к номинальному;
  - 2) отношение пускового момента к номинальному;
  - 3) отношение максимального момента к пусковому.
  
- 4) Два одинаковых асинхронных электродвигателя работают с различным скольжением. Поясните, у кого электродвигателя оно будет больше, если ротор первого электродвигателя вращается с частотой 2800 об/мин, а второй – с частотой 2900 об/мин.
 

1	2
  
- 5) Определить число витков вторичной обмотки трехфазного трансформатора (Y/Y), если в первичной  $w_1=1000$  и коэффициент трансформации  $k = 25$ .

1) Чему равно КПД трансформатора?

- 1)  $\eta = I_{1\text{ном}} / I_{2\text{ном}}$ ;
- 2)  $\eta = U_{1\text{ном}} / U_{2\text{ном}}$ ;
- 3)  $\eta = P_2 / P_1$ ;

2) Как зависит мощность электрических потерь в роторе асинхронного двигателя от скольжения

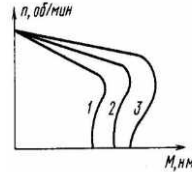
- 1) не зависит от скольжения;
- 2) прямо пропорциональна скольжению;
- 3) обратно пропорциональна скольжению;

3) Чем ограничивается область устойчивой работы синхронного двигателя?

- 1) участком угловой характеристики при  $\theta = 0 \div (\theta_{\text{кр}})$ ;
- 2) участком угловой характеристики при  $\theta = 0 \div (-90^\circ)$ ;
- 3) участком угловой характеристики при  $\theta = -180^\circ \div 0$ ;

4) Поясните, какая кривая из механических характеристик асинхронного электродвигателя соответствует:

номинальному напряжению питания	повышенному напряжению	пониженному напряжению



5) Определите номинальный ток во вторичной обмотке однофазного трансформатора имеющего следующие параметры:  $S_{\text{ном}} = 3300$  Вт;  $U_{2\text{ном}} = 36$  В.

1) Сколько стержней должен иметь магнитопровод трехфазного трансформатора?

- 1) один;
- 2) два;
- 3) три;

2) Напряжение на зажимах асинхронного двигателя уменьшилось в два раза. Как изменится при этом его вращающий момент?

- 1) не изменится;
- 2) увеличится в два раза;
- 3) уменьшится в четыре раза;
- 4) уменьшится в два раза;
- 5) увеличится в четыре раза;

3) Для создания кругового вращающегося поля, при одной паре полюсов, статор трехфазной синхронной машины выполняется в виде трех обмоток, сдвинутых в пространстве на:

- 1)  $90^\circ$ ;
- 2)  $100^\circ$ ;
- 3)  $120^\circ$ ;
- 4)  $180^\circ$ .

4) Поясните, чем отличаются друг от друга трансформаторы одинаковых номинальных мощностей напряжений, чисел витков и магнитных индукций, изготовленные для работы при частоте: 1) 400 Гц; 2) 50 Гц.

- А - увеличится в 8 раз сечение магнитопровода;  
 Б - уменьшится в 8 раз сечение магнитопровода.

1	2

5) Дано:  $U_1 = 220$  В;  $U_2 = 1100$  В;  $w_1 = 500$ . Определите: коэффициент трансформации  $K$ ; число витков вторичной обмотки  $w_2$ .

1) Как изменится отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора, если его обмотки переключить со схемы  $\Delta/Y$  на  $Y/\Delta$ ?

- 1) не изменится;
- 2) уменьшится в  $\sqrt{3}$ ;
- 3) увеличится в  $\sqrt{3}$ ;

2) Частота тока питающей сети равна 50 Гц. Ротор асинхронного двигателя вращается со скольжением, равным 2 %. Какова при этом частота тока в обмотке ротора?

- 1) 50 Гц;
- 2) 1 Гц;
- 3) 2 Гц;

3) Обмотка возбуждения, расположенная на роторе синхронной машины, подключается к источнику:

- 1) трехфазного напряжения;
- 2) однофазного синусоидального тока;
- 3) постоянного тока;
- 4) прямоугольных импульсов.

4) Заполните таблицу:

Число пар полюсов	$2p = 2$	$2p = 4$	$2p = 6$	$2p = 8$	$2p = 10$
Частота вращения АД					

5) Как обозначаются начала первичной обмотки трехфазного трансформатора? \_\_\_\_\_

1) Трехфазный трансформатор при нагрузке в 446 кВт и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  имеет установившуюся допустимую температуру нагрева. Какова номинальная мощность трансформатора?

- 1) 336 кВт;
- 2) 560 кВт;
- 3) 560 кВА;
- 4) 448 кВА;

2) Как зависит ЭДС ротора  $E_2$  вращающегося асинхронного двигателя от скольжения?

- 1) не зависит от скольжения;
- 2) прямо пропорциональна скольжению;
- 3) пропорциональна скольжению;

Если двухполюсный ротор синхронного генератора вращается с частотой 3000 об/мин, то частота напряжения на статорной обмотке:

- 1) 50 Гц;
- 2) 100 Гц;
- 3) 500 Гц;
- 4) 600 Гц.

4) Определите, к какому виду потерь энергии в электродвигателях

можно отнести:

- 1) потери на трение в подшипниках, щеток о коллектор, потери на охлаждение;
- 2) потери в проводах обмоток машины, связанные с их нагревом;
- 3) потери от перемагничивания сердечника машины и от воздействия вихревых токов.

магнитные потери	механические потери	электрические потери

5) Однофазный трансформатор при включении в сеть переменного тока с напряжением  $U_1 = 6000$  В при холостом ходе на вторичной обмотке имеет напряжение  $U_2 = 400$  В. Определите коэффициент трансформации.

1) Чему равен коэффициент трансформации трансформатора?

- 1)  $K = I_1 / I_2$ ;
- 2)  $K = U_1 / U_2$ ;
- 3)  $K = P_2 / P_1$ ;

2) Как изменится максимальный момент  $M_{\max}$  и критическое скольжение  $s_{\text{кр}}$  асинхронного двигателя при введении в цепь ротора дополнительного сопротивления?

- 1)  $M_{\max}$  и  $s_{\text{кр}}$  увеличатся;
- 2)  $M_{\max}$  уменьшится, а  $s_{\text{кр}}$  увеличатся;
- 3)  $M_{\max}$  не изменится, а  $s_{\text{кр}}$  увеличатся;

3) В каком соотношении находятся частота вращения магнитного поля  $n_1$  синхронного двигателя и частота вращения ротора  $n_2$ ?

- 1)  $n_1 = n_2$ ;
- 2)  $n_1 > n_2$ ;
- 3)  $n_1 < n_2$ ;

4) Имеются два трансформатора с одинаковой массой активных частей и одинаковым подводимым напряжением к ним, но выполнены с различным охлаждением (1 - масляным; 2 - воздушным). Определите, какой из этих трансформаторов обладает большей или меньшей мощностью.

большой мощностью	меньшей мощностью

5) Определить номинальную мощность трансформатора, подключенного к сети переменного тока с напряжением 3000 В, если известно, что номинальный ток вторичной обмотки  $I_{2\text{ном}} = 23$  А, коэффициент трансформации  $k = 13$ .

1) Чем принципиально отличается автотрансформатор от трансформатора?

- 1) малым коэффициентом трансформации;
- 2) возможностью изменения коэффициента трансформации;
- 3) электрическим соединением первичной и вторичной цепей;

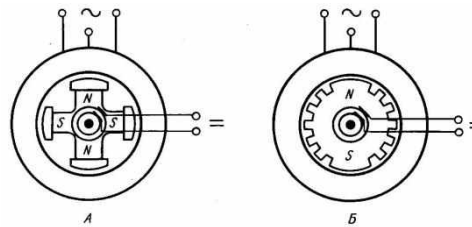
2) Как изменится номинальная скорость вращения асинхронного двигателя при увеличении числа полюсов обмотки статора в два раза?

- 1) не изменится;
- 2) увеличится в два раза;
- 3) уменьшится в два раза;

3) Двухполюсный ротор синхронного генератора вращается с частотой 3000 об/мин. Какова частота напряжения сети?

- 1) 50 Гц;
- 2) 100 Гц;
- 3) 500 Гц;

4) Поясните, какая из синхронных м/г шин соответствует:



- 1) машине с явнополюсным ротором;
- 2) машине с неявнополюсным ротором.

1	2

34

1) Определите ЭДС первичной обмотки трансформатора, имеющего 450 витков, если трансформатор подключен к сети переменного тока с частотой  $f = 50$  Гц, а магнитный поток в сердечнике  $\Phi = 2,17 \cdot 10^{-3}$  Вб.

- 1) Почему для получения круто падающей внешней характеристики целесообразно увеличивать индуктивное, а не активное сопротивление сварочного трансформатора?
- 1) по конструктивным соображениям;
  - 2) для уменьшения тепловых потерь;
  - 3) по соображениям техники безопасности;
- 2) Как можно плавно регулировать в широких пределах частоту вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
- 1) изменением числа пар полюсов вращающего магнитного поля статора;
  - 2) изменением сопротивления обмотки ротора;
  - 3) изменением частоты питающего напряжения;
- 3) Какое число полюсов должно быть у синхронного генератора, имеющего частоту генерируемого тока  $f = 50$  Гц, если его ротор вращается с частотой  $n = 250$  об/мин.
- 1) 24 полюса;
  - 2) 36 полюсов;
  - 3) 48 полюсов.
- 4) Каким образом определяются отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора:
- | Схема соединения обмоток      | Y/Y | $\Delta/Y$ | $\Delta/\Delta$ | Y/ $\Delta$ |
|-------------------------------|-----|------------|-----------------|-------------|
| Отношение линейных напряжений |     |            |                 |             |
- 5) Определить число витков вторичной обмотки трансформатора, если при магнитном потоке в сердечнике  $\Phi = 2 \cdot 10^{-3}$  Вб и частоте  $f = 50$  Гц наведенная ЭДС должна составлять 220 В.

- 1) Почему для сварки используют трансформаторы с круто падающей характеристикой?
- 1) для получения на вторичной обмотке устойчивого напряжения 60...70 В;
  - 2) для ограничения тока короткого замыкания;
  - 3) для повышения сварочного тока.
- 2) Как зависит мощность электрических потерь в роторе асинхронного двигателя от скольжения
- 1) обратно пропорциональна скольжению;
  - 2) прямо пропорциональна скольжению;
  - 3) обратно пропорциональна скольжению;
- 3) Каков КПД синхронного генератора, если суммарная мощность потерь  $\Sigma P$  составляет 8% от полезной мощности, отдаваемой им?
- 1) 0,9;
  - 2) 0,926;
  - 3) 0,95;
- 4) Трехфазный трансформатор имеет число витков на фазу в первичной обмотке  $W_1 = 1650$ , вторичной  $W_2 = 80$ . Определите линейный коэффициент трансформации при следующих группах соединений:
- $$1) \frac{\Delta}{Y}; \quad 2) \frac{Y}{Y}; \quad 3) \frac{Y}{\Delta}.$$
- 1) Перечислите схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора:
- 
-

- 1) Бывают ли трансформаторы постоянного напряжения?
  - 1) да;
  - 2) нет;
  - 3) да, но при определенных условиях;
- 2) Частота вращения асинхронного двигателя при увеличении механической нагрузки на валу:
  - 1) уменьшится;
  - 2) увеличится;
  - 3) не изменится;
  - 4) превысит частоту вращения поля.
- 3) При выполнении каких приведенных условий зависимость  $U = f(I)$  является внешней характеристикой синхронного генератора?
  - 1)  $n = \text{const}$ ;
  - 2)  $\cos\varphi = \text{const}$ ;
  - 3)  $I_b = \text{const}$ ;
  - 4) всех ранее перечисленных условий.

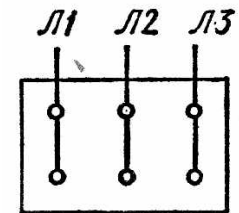
4) Соотнесите выражения по колонкам. Для трансформатора существует классификация:

по форме сердечника	масляный, стержневой, броневой, воздушный
по виду охлаждения	

- 5) Трехфазный двухполюсный асинхронный двигатель при номинальной нагрузке имеет скольжение  $s = 4\%$ . Чему равна частота вращения ротора, если частота переменного тока питающего обмотку статора  $f = 50$  Гц.

- 1) Из какого материала выполняется сердечник трансформатора:
  - 1) Из диэлектрика;
  - 2) Из меди;
  - 3) Из электротехнической стали;
  - 4) Из нержавеющей стали.
- 2) Направление вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя зависит от:
  - 1) порядка чередования фаз напряжения статора;
  - 2) величины подводимого тока;
  - 3) величины подводимого напряжения;
  - 4) частоты питающей сети.
- 3) Как можно регулировать скорость вращения синхронного двигателя?
  - 1) изменением напряжения на статоре;
  - 2) изменением тока возбуждения ротора;
  - 3) изменением частоты напряжения статора.

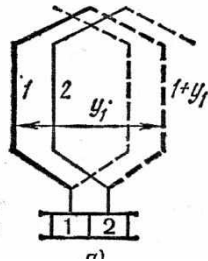
- 4) Какое соединение обмотки статора на щитке двигателя указано на рисунке? Промаркируйте клеммы.



- 5) Однофазный трансформатор номинальной мощностью  $P_{\text{ном}} = 30$  кВт имеет потери холостого хода  $P_0 = 600$  Вт, короткого замыкания  $P_{\text{кз}} = 1500$  Вт. Определить суммарные потери.

Вариант 21

- 1) Что произойдет с трансформатором, если его включить в сеть постоянного напряжения той же величины?
  - 1) ничего не произойдет;
  - 2) может сгореть;
  - 3) уменьшится основной магнитный поток;
  - 4) уменьшится магнитный поток рассеяния первичной обмотки;
- 2) Какой тип обмотки ротора используется у асинхронных двигателей?
  - 1) ласточкин хвост;
  - 2) беличья клетка;
  - 3) кроличья лапка;
- 3) Чем отличается синхронный двигатель от асинхронного?
  - 1) устройством статора;
  - 2) устройством ротора;
  - 3) устройством статора и ротора.



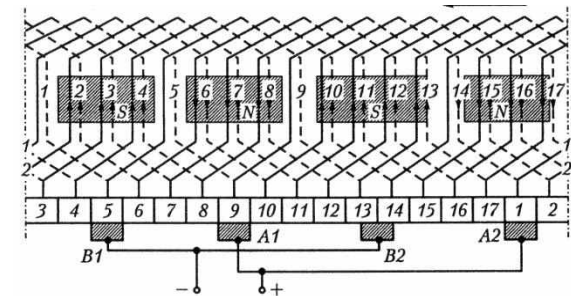
- 4) Секция какой обмотки якоря представлена на рисунке?
  - 1) простой петлевой обмотки;
  - 2) простой волновой обмотки;
  - 3) комбинированной обмотки;
- 5) Первичная обмотка автотрансформатора имеет  $W1 = 600$  витков, коэффициент трансформации  $K = 20$ . Определить число витков вторичной обмотки  $W2$ .

Вариант 22

- 1) В каком ответе правильно перечислены элементы трансформатора?
  - 1) сердечник, ротор, обмотка;
  - 2) сердечник, крепежные шпильки, статор.;
  - 3) сердечник, обмотка, крепежные шпильки;
- 2) Для создания вращающегося магнитного поля статора асинхронного двигателя необходимы следующие условия:
  - 1) пространственный сдвиг обмоток и включение их в цепь постоянного тока;
  - 2) пространственный сдвиг обмоток и фазовый сдвиг токов в них;
  - 3) наличие одной обмотки и включение ее в сеть однофазного переменного тока;
  - 4) включение статора в сеть трехфазного тока, ротора – в цепь постоянного тока.

- 3) Как называется синхронный генератор, приводимый в движение паровую турбину?
  - 1) турбогенератор;
  - 2) гидрогенератор;
  - 3) дизель;

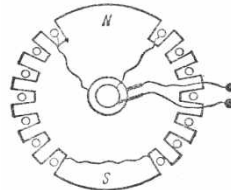
- 4) Определите первый частичный шаг простой волновой обмотки
  - 1)  $y = 8$ ;
  - 2)  $y = 4$ ;
  - 3)  $y = 1$ ;



- 5) Трехфазный трансформатор мощностью  $S = 250$  кВА подключен к сети  $U_1 = 6$  кВ. Определите номинальный ток.



- 1) Опыт К.З. трансформатора проводится:
  - 1) При пониженном токе вторичной обмотки;
  - 2) При максимальном токе вторичной обмотки;
  - 3) При номинальном токе вторичной обмотки;
- 2) Дайте определение электродвигателя -
  - 1) машина, преобразующая механическую энергию в электрическую;
  - 2) электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования одной системы переменного тока в другую;
  - 3) машина, преобразующая электрическую энергию в механическую;
- 3) Ротор какой электрической машины представлен на рисунке?
  - 1) ротор синхронной машины с неявновыраженными полюсами;
  - 2) короткозамкнутый ротор асинхронной машины;
  - 3) фазный ротор асинхронной машины;



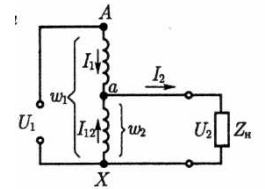
- 4) Каким образом определяются отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора:

Схема соединения обмоток	Y/Δ	Δ/Y	Δ/Δ	Y/Y
Отношение линейных напряжений				

- 5) Четырехполюсной ротор (2p = 4) синхронного генератора вращается с частотой 3000об/мин. Определить частоту тока  $f_1$ .

- 1) Сердечник трансформатора делают не сплошным, а собирают из отдельных листов, изолированных друг от друга для:
  - 1) уменьшения потерь на вихревые токи в сердечнике;
  - 2) увеличения магнитного потока;
  - 3) уменьшения потерь на гистерезис;
  - 4) уменьшения потерь в обмотках.
- 2) Если асинхронный двигатель подключен к трехфазной сети частотой 50 Гц и вращается с частотой вращения 3000 об/мин, то он имеет количество полюсов:
  - 1) два;
  - 2) три;
  - 3) пять;
  - 4) шесть.
- 3) Что такое ОКЗ (отношение короткого замыкания) синхронной машины?
  - 1)  $ОКЗ = I_{В0.НОМ} / I_{В.К.НОМ}$ ;
  - 2)  $ОКЗ = I_{В.К.НОМ} / I_{В.0.НОМ}$ ;
  - 3)  $ОКЗ = E_0 / U_{1НОМ}$ .

- 4) Какое название у трансформатора, представленного на рисунке?



- 5) Определить номинальную мощность АД, если потребляемая двигателем в номинальном режиме  $P_{1НОМ} = 6кВт$ , а потери мощности составляют  $\sum P = 1,5кВт$ .

Вариант 25

1) Какая величина определяется из опыта короткого замыкания трансформатора?

- 1)  $I_0$ ;
- 2)  $P_{ст}$ ;
- 3)  $P_{обм}$ ;

2) Чему равна частота вращения магнитного поля статора для двигателя типа 4А112В4У3:

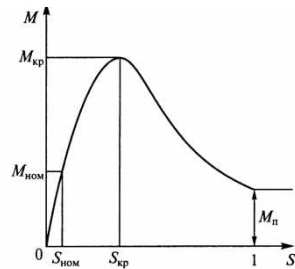
- 1) 1000 об/мин;
- 2) 1500 об/мин;
- 3) 3000 об/мин;

3) Чем ограничивается область устойчивой работы синхронного двигателя?

- 1) участком угловой характеристики при  $\theta = 0 \div (\theta_{кр})$ ;
- 2) участком угловой характеристики при  $\theta = 0 \div (-90^\circ)$ ;
- 3) участком угловой характеристики при  $\theta = -180^\circ \div 0$ .

4) Какая часть механической характеристики асинхронного двигателя является рабочей?

- 1) при  $s$  от 0 до  $s_{ном}$ ;
- 2) при  $s$  от  $s_{кр}$  до 1;
- 3) при  $s$  от 0 до  $s_{кр}$ ;



5) Потери при холостом ходе трансформатора составляют  $P_x = 500$  Вт, при коротком замыкании  $P_k = 1400$  Вт. Определить КПД трансформатора, если номинальная мощность  $P_{ном} = 25$  кВт.

Вариант 26

1) Если  $w_1$  число витков первичной обмотки, а  $w_2$  число витков вторичной обмотки, то коэффициент трансформации трансформатора определяется по формуле:

- 1)  $k = w_1 + w_2$
- 2)  $k = w_2/w_1$
- 3)  $k = w_1/w_2$
- 4)  $k = w_1 - w_2$

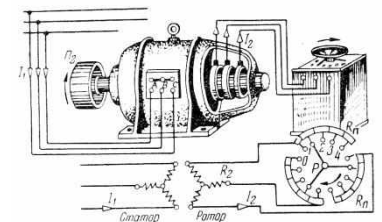
2) Если номинальная частота вращения асинхронного двигателя составляет  $n_n = 720$  об/мин, то частота вращения магнитного поля статора составит:

- 1) 600 об/мин;
- 2) 750 об/мин;
- 3) 1500 об/мин;
- 4) 3000 об/мин.

3) Для создания кругового вращающегося поля, при одной паре полюсов, статор трехфазной синхронной машины выполняется в виде трех обмоток, сдвинутых в пространстве на:

- 1)  $120^\circ$ ;
- 2)  $180^\circ$ ;
- 3)  $90^\circ$ ;
- 4)  $100^\circ$ ;

4) Какой электродвигатель представлен на рисунке?



5) Определить номинальную мощность трансформатора, подключенного к сети переменного тока с напряжением 6000 В, если известно, что номинальный ток вторичной обмотки  $I_{2ном} = 46$  А, коэффициент трансформации  $n = 13$ .

1) Если число витков первичной обмотки  $w_1=1200$ , а число витков вторичной обмотки  $w_2=50$ , то однофазный трансформатор является:

- 1) повышающим;
- 2) понижающим;
- 3) разделительным;
- 4) измерительным трансформатором тока.

2) Частота вращения магнитного поля статора асинхронной машины, работающей в генераторном режиме, и частота вращения ротора связаны соотношением:

- 1)  $n_1 = n_2$ ;
- 2)  $n_1 < n_2$ ;
- 3)  $n_1 > n_2$ ;
- 4)  $n_1 + n_2 = 0$ ;

3) Обмотка возбуждения, расположенная на роторе синхронной машины, подключается к источнику:

- 1) трехфазного напряжения;
- 2) однофазного синусоидального тока;
- 3) постоянного тока;
- 4) прямоугольных импульсов;

4) На рисунке показаны возможные схемы соединения первичных и вторичных обмоток трехфазных трансформаторов. Поясните, какая из схем соответствует соединению:

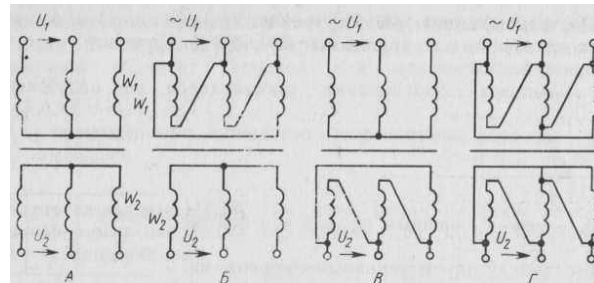


Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4

Определите скольжение для асинхронного двигателя типа 4A180S2Y3 с номинальной скоростью 2940 об/мин.

1) Коэффициент трансформации трансформатора с наибольшей точностью определяется в режиме:

- 1) номинальной нагрузки;
- 2) короткого замыкания;
- 3) холостого хода;
- 4) согласованной нагрузки.

2) В однофазном асинхронном двигателе последовательно с пусковой обмоткой включается конденсатор для:

- 1) создания постоянного поля;
- 2) устранения радиопомех;
- 3) создания пульсирующего поля;
- 4) создания вращающего магнитного поля.

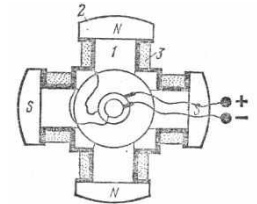
3) Если двухполюсный ротор синхронного генератора вращается с частотой 3000 об/мин, то частота напряжения на статорной обмотке:

- 1) 50 Гц;
- 2) 100 Гц;
- 3) 500 Гц;
- 4) 600 Гц.

4) На рисунке представлен ротор синхронной машины с явно выраженными полюсами

Распишите его устройство:

- 1-
- 2-
- 3-

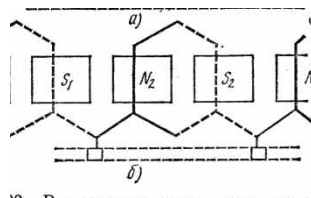


5) Определить число витков вторичной обмотки трехфазного трансформатора (Y/Δ), если в первичной  $w_1=1000$  и коэффициент трансформации  $k = 25$ .

- 1) Магнитопровод в трансформаторе выполняет функцию:
  - 1) составляет магнитную цепь, по которой замыкается основной магнитный поток;
  - 2) передачи тока по обмоткам;
  - 3) составляет электрическую цепь, по которой передается напряжение.
  
- 2) Если номинальный момент асинхронного двигателя равен 40 Н·м, а перегрузочная способность двигателя равна 2, то максимальный момент, развиваемый двигателем, составит:
  - 1) 40 Н·м;
  - 2) 80 Н·м;
  - 3)  $40\sqrt{2}$  Н·м;
  - 4) 20 Н·м.
  
- 3) Какие машины переменного тока называются синхронными?
  - 1) машины, в которых скорость вращения ротора равна скорости вращения магнитного поля.
  - 2) машины, в которых скорость вращения ротора меньше скорости вращения магнитного поля.
  - 3) машины, в которых скорость вращения ротора больше скорости вращения магнитного поля.

4) Секция какой обмотки якоря представлена на рисунке?

- 1) простой петлевой обмотки;
- 2) простой волновой обмотки;
- 3) комбинированной обмотки;



4) Трехфазный трансформатор имеет вторичное напряжение  $U_2 = 220$  В, а первичное  $U_1 = 10$  кВ. Определить коэффициент трансформации, если обмотки в нем соединены по схеме  $\Delta/Y$ .

- 1) Внешняя характеристика трансформатора
  - 1)  $I_2 = f(U_2)$
  - 2)  $\eta = f(I_2)$
  - 3)  $\Delta U_2 = f(I_2)$
  - 4)  $U_2 = f(I_2)$
  
- 2) Почему ротор асинхронного двигателя вращается со скоростью несколько меньшей скорости магнитного поля?
  - 1) это конструктивная особенность асинхронных двигателей;
  - 2) только в этом случае в обмотке ротора возникнут ЭДС и токи;
  - 3) это обусловлено конфигурацией магнитных полей двигателя.
  
- 3) Чем отличается синхронный двигатель от асинхронного?
  - 1) устройством ротора;
  - 2) устройством статора;
  - 3) устройством статора и ротора.
  
- 4) Какие из перечисленных групп трехфазных трансформаторов относятся к основным?
  - 1) Y/Y-0;
  - 2) Y/Y-2;
  - 3) Y/Y-6;
  - 4) Y/ $\Delta$ -5;
  - 5) Y/ $\Delta$ -7;
  
- 5) Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором вращается с частотой  $n_2 = 1480$  об/мин. Определить число пар полюсов и скольжение, если синхронная частота вращения магнитного поля  $n_1 = 1500$  об/мин.

## 7.2 в виде экзамена

Специальность 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

### Экзаменационный билет № 1

**Задание 1.** Назначение, устройство и принцип действия однофазных трансформаторов.

**Задание 2.** Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя.

**Задание 3.** Классификация двигателей постоянного тока.

**Задание 4.** Определить сечение магнитопровода, трансформатора с коэффициентом трансформации  $k = 32$ , подключенного к сети переменного тока с напряжением  $U_1 = 15$  кВ и с частотой  $f = 50$  Гц, если магнитная индукция в магнитопроводе  $B = 1,2$  Тл, а число витков вторичной обмотки  $w_2 = 254$ .

### Экзаменационный билет № 2

**Задание 1.** Уравнения напряжений трансформатора.

**Задание 2.** Назначение, устройство и принцип действия однофазного асинхронного двигателя.

**Задание 3.** Пуск двигателей постоянного тока.

**Задание 4.** Определить сечение магнитопровода, трансформатора с коэффициентом трансформации  $k = 47$ , подключенного к сети переменного тока с напряжением  $U_1 = 25$  кВ и с частотой  $f = 50$  Гц, если магнитная индукция в магнитопроводе  $B = 1,5$  Тл, а число витков вторичной обмотки  $w_2 = 715$ .

### Экзаменационный билет № 3

**Задание 1.** Назначение, устройство и принцип действия трехфазных трансформаторов.

**Задание 2.** Схема и характеристики генератора постоянного тока смешанного возбуждения.

**Задание 3.** Классификация высоковольтных выключателей.

**Задание 4.** Трансформатор подключили к сети переменного тока с напряжением  $U_1 = 220$  В и частотой  $f = 50$  Гц. Определить коэффициент трансформации, если сердечник имеет активное сечение  $S = 6,5$  см<sup>2</sup>, наибольшая магнитная индукция  $B_m = 0,93$  Тл, а число витков вторичной обмотки  $w_2 = 56$ .

### Экзаменационный билет № 4

**Задание 1.** Пуск двигателей с фазным ротором и с короткозамкнутым ротором.

**Задание 2.** Схема и характеристики генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

**Задание 3.** Назначение, устройство, принцип работы и основные элементы конструкции отделителей.

**Задание 4.** Однофазный трансформатор с номинальной мощностью  $S_{ном} = 250$  ВА

при включении в сеть переменного тока с напряжением  $U_1 = 220$  В при холостом ходе на вторичной обмотке напряжение  $U_2 = 25$  В. Определить номинальные токи обмоток, коэффициент трансформации и число витков в первичной обмотке, если число витков во вторичной  $w_2 = 37$  (потери трансформатора пренебречь).

Экзаменационный билет № 5

**Задание 1.** Уравнения ЭДС И МДС трансформатора.

**Задание 2.** Способы возбуждения синхронных машин.

**Задание 3.** Регулирование частоты вращения двигателей параллельного возбуждения.

**Задание 4.** Трехфазный трансформатор работает на осветительную сеть с нагрузкой 50 кВт. Вторичное напряжение при этой нагрузке  $U_2 = 220$  В, а первичное  $U_1 = 10$  кВ. Определить вторичный и первичный токи трансформатора, если обмотки в нем соединены по схеме Y/Y, а КПД и  $\cos\varphi$  равны 0,85.

Экзаменационный билет № 6

**Задание 1.** Опытное определение параметров схемы замещения трансформаторов.

**Задание 2.** Типы синхронных машин и их устройство.

**Задание 3.** Режимы работы машины постоянного тока.

**Задание 4.** Найти ЭДС, наводимую в обмотке якоря двигателя постоянного тока, если частота вращения двигателя 1500 об/мин, магнитный поток  $\Phi = 4,0 \cdot 10^{-2}$  Вб, а постоянная машина  $c_E = 25$ .

Экзаменационный билет № 7

**Задание 1.** Внешняя характеристика трансформатора.

**Задание 2.** Магнитная цепь и магнитное поле синхронной машины.

**Задание 3.** Схема и характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

**Задание 4.** Обмотка якоря четырехполюсного двигателя постоянного тока имеет 690 проводников при двух парах параллельных ветвей. Магнитный поток машины 0,012 Вб при скорости вращения 1500 об/мин. Определите ЭДС, наводимую в обмотке якоря двигателя.

Экзаменационный билет № 8

**Задание 1.** Потери и КПД трансформатора.

**Задание 2.** Реакция якоря синхронной машины и ее виды.

**Задание 3.** Схема и характеристики двигателя постоянного тока смешанного возбуждения.

**Задание 4.** Найти для трехфазного асинхронного двигателя ЭДС  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{2s}$  при скольжении  $s = 4\%$ , если известно, что амплитуда потока, проходящегося на

один полюс и одну фазу; составляет  $\Phi_m = 0,72 \cdot 10^{-2}$  Вб, число витков обмоток статора и ротора соответственно  $w_1 = 580$ ,  $w_2 = 75$ ,  $f = 50$  Гц.

Экзаменационный билет № 9

**Задание 1.** Принцип регулирования напряжения трансформатора.

**Задание 2.** Уравнения напряжений синхронного генератора.

**Задание 3.** Потери и КПД машин постоянного тока.

**Задание 4.** Напряжение питания трехфазного асинхронного двигателя  $U_1 = 660$  В, частота тока сети  $f = 50$  Гц, число пар полюсов  $p = 6$ . Пренебрегая падением напряжения в обмотке статора, определить ЭДС, индуцируемое в фазе обмотки ротора, и частоту, если ротор вращается с частотой  $n_2 = 1500$  об/мин. Коэффициент трансформации двигателя  $k = 25$ .

Экзаменационный билет № 10

**Задание 1.** Группы соединения обмоток трансформаторов.

**Задание 2.** Характеристики синхронного генератора.

**Задание 3.** Физические явления в электрических контактах. Типы контактов. Основные конструкции контактных соединений. Параметры контактных соединений.

**Задание 4.** Асинхронный двигатель трехфазный с короткозамкнутым ротором, обмотки которого соединены по схеме  $\Delta$  и подключены к сети переменного тока с напряжением  $U = 220$  В, потребляет при  $\eta = 0,87$ ,  $\cos\varphi = 0,82$  и  $I = 27$  А. Частота вращения магнитного поля  $n_2 = 970$  об/мин. Определить сумму потерь, вращающий момент, число пар полюсов и скольжение.

Экзаменационный билет № 11

**Задание 1.** Назначение и условия включения трансформаторов на параллельную работу.

**Задание 2.** Потери и КПД синхронных машин.

**Задание 3.** Способы гашения электрической дуги.

**Задание 4.** Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью  $S_{ном} = 1600$  кВа включен в сеть переменного тока с напряжением  $U = 10\,000$  В. При холостом ходе трансформатора, напряжение на зажимах вторичной обмотки  $U_2 = 400$  В. Определить коэффициент трансформации и число витков первичной обмотки, если число витков вторичной обмотки  $w_2 = 32$ .

Экзаменационный билет № 12

**Задание 1.** Трехобмоточные трансформаторы.

**Задание 2.** Назначение параллельной работы синхронных генераторов.

**Задание 3.** Функциональное назначение аппаратов управления, защиты и автоматики, их классификация.

**Задание 4.** Определить КПД асинхронного трехфазного двигателя, имеющего номинальную мощность  $P_2 = 200$  кВт, мощность холостого хода  $P_x = 7,8$  кВт и короткого замыкания  $P_k = 5,6$  кВт.

Экзаменационный билет № 13

**Задание 1.** Принцип работы автотрансформаторов.

**Задание 2.** Нагрузка генератора, включенного на параллельную работу.

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия магнитных пускателей.

**Задание 4.** Трехфазный шестиполюсный асинхронный двигатель потребляет мощность  $P_1 = 5,6$  кВт при напряжении  $U = 380$  В и токе  $I_1 = 10$  А. Определить частоту вращения ротора  $n_2$ , полезную мощность  $P_2$ ,  $\cos\varphi$  и КПД, если момент двигателя  $M_2 = 39,2$  Н·м, скольжение  $s = 2\%$ , частота тока  $f = 50$  Гц.

Экзаменационный билет № 14

**Задание 1.** Электрические машины как электромеханические преобразователи энергии. Классификация электрических машин.

**Задание 2.** Угловые характеристики синхронного генератора.

**Задание 3.** Схема и характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

**Задание 4.** Трехфазный десятиполюсный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие номинальные данные: номинальная мощность  $P_2 = 45$  кВт,  $U_{\text{ном}} = 220/380$  В,  $n_{2 \text{ ном}} = 574$  об/мин, номинальный  $\cos\varphi = 0,74$  и  $\eta_{\text{ном}} = 86\%$ . Вычислить  $P_1$ , ток двигателя при соединении обмоток статора в  $Y$  и  $\Delta$ ,  $M_{\text{ном}}$ ,  $s_{\text{ном}}$ , если  $f = 50$  Гц.

Экзаменационный билет № 15

**Задание 1.** Назначение и принцип действия синхронного генератора.

**Задание 2.** Колебание ротора синхронного двигателя и способы их уменьшения.

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия контакторов.

**Задание 4.** Найти ЭДС, наводимую в обмотке якоря двигателя постоянного тока, если частота вращения двигателя 1000 об/мин, магнитный поток  $\Phi = 2,0 \cdot 10^{-2}$  Вб, а постоянная машина  $c_E = 10$ .

Экзаменационный билет № 16

**Задание 1.** Принцип действия асинхронного двигателя.

**Задание 2.**  $U$  –образные характеристики синхронного генератора.

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия



автоматических выключателей.

**Задание 4.** Трехфазный асинхронный двигатель потребляет из сети мощность  $P_1 = 1,875$  кВт при токе  $I_\phi = 3,5$  А и напряжении  $U = 220$  В. Чему равен коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и КПД  $\eta_{дв}$ , если полезная мощность на валу  $P_2 = 1,5$  кВт?

**Экзаменационный билет № 17**

**Задание 1.** Основные типы обмоток статора безколлекторных машин.

**Задание 2.** Принцип действия синхронного двигателя.

**Задание 3.** Классификация реле.

**Задание 4.** Двигатель постоянного тока вращается с частотой  $n = 1500$  об/мин, магнитный поток  $\Phi = 3 \cdot 10^{-2}$  Вб. Сколько полюсов у двигателя, если отношение числа активных проводников обмотки якоря к числу пар ее параллельных ветвей равно 70? ЭДС двигателя  $E = 210$  В.

**Экзаменационный билет № 18**

**Задание 1.** Режимы работы асинхронной машины.

**Задание 2.** Способы пуска синхронных двигателей.

**Задание 3.** Применение реле в схемах управления, защиты и автоматики.

**Задание 4.** Трехфазный асинхронный двигатель потребляет из сети мощность  $P_1 = 9,55$  кВт при токе  $I_1 = 36,36$  А и напряжении  $U_{ном} = 220$  В. Определить коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и КПД, если полезная мощность на валу  $P_{2ном} = 7,5$  кВт?

**Экзаменационный билет № 19**

**Задание 1.** Устройство асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

**Задание 2.**  $U$  –образные и рабочие характеристики синхронного двигателя.

**Задание 3.** Работа и конструкция электромагнитного реле тока и напряжения.

**Задание 4.** Трехфазный трансформатор в сеть переменного тока с частотой  $f = 50$  Гц. Определить ЭДС первичной и вторичной обмоток, если активное сечение стержня и ярма  $S = 183$  см<sup>2</sup>, наибольшая магнитная индукция в стержне  $B = 1,48$  Тл, число витков  $w_1 = 500$ ,  $w_2 = 50$ .

**Экзаменационный билет № 20**

**Задание 1.** Устройство асинхронных двигателей с фазным ротором.

**Задание 2.** Назначение, устройство и принцип действия синхронного компенсатора.

**Задание 3.** Работа и конструкция реле времени.

**Задание 4.** Определить ЭДС, наводимые в фазах статора и ротора асинхронного двигателя при неподвижном роторе и при роторе, вращающемся со скольжением

$s = 0,04$ . Число витков в обмотке статора  $w_1 = 360$ , ротора  $w_2 = 30$ , магнитный поток  $\Phi_m = 0,4 \cdot 10^{-2}$  Вб, частота тока  $f = 50$  Гц.

Экзаменационный билет № 21

**Задание 1.** Магнитная цепь асинхронной машины.

**Задание 2.** Принцип действия машин постоянного тока.

**Задание 3.** Назначение, основные технические характеристики и классификация предохранителей. Устройство и принцип действия предохранителей.

**Задание 4.** ЭДС шестиполюсного генератора постоянного тока  $E = 210$  В. Определить частоту вращения якоря, если магнитный поток полюса  $\Phi = 2 \cdot 10^{-2}$  Вб,  $N = 500$ ,  $a = 3$ .

Экзаменационный билет № 22

**Задание 1.** Рабочий процесс трехфазного асинхронного двигателя.

**Задание 2.** Устройство коллекторной машины постоянного тока.

**Задание 3.** Назначение, классификация, устройство и принцип действия рубильников.

**Задание 4.** Машина постоянного тока имеет следующие паспортные данные: 36 число пазов, число витков в пазу  $\omega = 10$ , число параллельных ветвей и число пар полюсов  $p = a = 2$ . Чему равен магнитный поток  $\Phi$ , необходимый для создания в обмотке якоря ЭДС  $E = 211$  В при частоте вращения 750 об/мин?

Экзаменационный билет № 23

**Задание 1.** Потери и КПД асинхронного двигателя. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.

**Задание 2.** Основные сведения об якорных обмотках машин постоянного тока.

**Задание 3.** Назначение, устройство и принцип работы короткозамыкателей.

**Задание 4.** Найти сопротивление якоря, если ток якоря составляет 78 А, мощность генератора  $P_2 = 9,0$  кВт, а электромагнитная  $P_{эм} = 9,3$  кВт.

Экзаменационный билет № 24

**Задание 1.** Электромагнитный момент и механические характеристики асинхронного двигателя.

**Задание 2.** Магнитная цепь машины постоянного тока и принцип ее расчета.

**Задание 3.** Назначение, области применения и основные технические характеристики разъединителей.

**Задание 4.** Двигатель постоянного тока питается от сети с напряжением  $U_{ном} = 220$  В, потребляемый двигателем ток  $I = 40$  А, скорость вращения двигателя  $n = 2000$  об/мин, коэффициент полезного действия  $\eta = 0,85$ . Определить вращающий момент на валу двигателя.

Экзаменационный билет № 25

**Задание 1.** Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении напряжения сети.

**Задание 2.** Реакция якоря машины постоянного тока. Устранение вредного влияния реакция якоря.

**Задание 3.** Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции разъединителей.

**Задание 4.** Для защиты трехфазного двигателя с номинальной мощностью 22 кВт, номинальным током 12 А, номинальным напряжением 220 В и кратностью пускового тока 4,5 установили предохранитель ПН2-50/25. Требуется проверить предохранитель на отключающую способность.

Экзаменационный билет № 26

**Задание 1.** Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении сопротивления обмотки статора.

**Задание 2.** Способы возбуждения машин постоянного тока.

**Задание 3.** Назначение, области применения, основные технические характеристики высоковольтных выключателей.

**Задание 4.** Определить ток в катушке, имеющей 600 витков, и магнитную проницаемость сердечника, на котором расположена катушка, выполненном из литой стали, если магнитный поток, созданный током катушки в сердечнике  $\Phi = 8 \cdot 10^{-4}$  Вб. Размеры однородной магнитной цепи  $a = 25$  мм,  $b = 30$  мм,  $H = 120$  мм,  $L = 100$  мм.

Экзаменационный билет № 27

**Задание 1.** Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

**Задание 2.** Коммутация в машинах постоянного тока. Способы улучшения коммутации.

**Задание 3.** Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции масляных выключателей.

**Задание 4.** Рассчитать электрическую линию однофазного переменного тока для питания группы ламп мощностью  $P = 3,5$  кВт при напряжении питающей сети  $U_{\text{ном}} = 220$  В и протяженностью линии  $L = 30$  м. Условия прокладки линии - в трубе, материал ее проводов – медь. Выбрать предохранители и токи плавких вставок для защиты от КЗ.

Экзаменационный билет № 28

**Задание 1.** Характеристики холостого хода и короткого замыкания трехфазного асинхронного двигателя.

**Задание 2.** Классификация генераторов постоянного тока по способу возбуждения. Условия самовозбуждения.

**Задание 3.** Устройство, принцип работы и основные элементы конструкции вакуумных выключателей.

**Задание 4.** Выбрать автоматический выключатель для защиты асинхронного двигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, со следующими основными техническими данными: мощность  $P_{\text{ном}} = 7,5$  кВт; КПД  $\eta = 0,875$ ; коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,86$ ; коэффициент кратности пускового тока  $K_i = 7,5$ ; номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 380$  В.

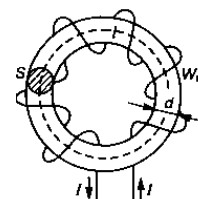
**Экзаменационный билет № 29**

**Задание 1.** Трансформаторы специального назначения.

**Задание 2.** Схема и характеристики генератора постоянного тока независимого возбуждения.

**Задание 3.** Назначение, устройство, принцип работы и основные элементы конструкции токоограничивающих реакторов.

**Задание 4.** По катушке с числом витков  $W = 500$  проходит ток 4 А. катушка расположена на сердечнике из электротехнической стали, размеры которого даны в мм. Определить магнитный поток  $\Phi$  в магнитопроводе однородной магнитной цепи, если  $d = 60$  мм,  $r = 180$  мм.



**Экзаменационный билет № 30**

**Задание 1.** Пусковые свойства асинхронного двигателя.

**Задание 2.** Назначение, устройство и принцип действия асинхронной машины специального назначения.

**Задание 3.** Назначение и область применения бесконтактных электрических аппаратов.

**Задание 4.** Для защиты трехфазного двигателя с номинальной мощностью  $P_{\text{ном}} = 21$  кВт, номинальным током 42,2 А, номинальным напряжением 380 В и кратностью пускового тока 6,5 установили предохранитель ПН2-50/50. Требуется проверить предохранитель на отключающую способность.

## Лист согласования

### Дополнения и изменения к комплекту ФОС на учебный год

Дополнения и изменения к комплекту ФОС на \_\_\_\_\_ учебный год по дисциплине

---

В комплект ФОС внесены следующие изменения:

---

---

---

---

---

---

Дополнения и изменения в комплекте ФОС обсуждены на заседании ЦК

---

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г. (протокол № \_\_\_\_\_ ).

Председатель ЦК \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /