

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СВЕРДЛОВСКОЙ
ОБЛАСТИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ «КАМЫШЛОВСКИЙ ТЕХНИКУМ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСПОРТА»

МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА
по выполнению практических и лабораторных работ
ПМ.01. «Организация технического обслуживания и ремонта электрического и
электромеханического оборудования»
МДК- 01.01 «Электрические машины и аппараты».

Составил:
Мухтаров ИФ
Мастер ПО.

Камышлов
2015

Содержание

Введение

1 Основная часть

Раздел. Электрические измерения

Раздел. Электрические машины

Раздел. Основы теории электрических аппаратов

Раздел. Аппараты управления, защита и автоматики напряжением до 1000 В

Раздел. Аппараты управления и защиты и автоматики напряжением выше 1000В.

Раздел. Электрические машины переменного тока.

Заключение.

Список литературы и источников.

АННОТАЦИЯ

Учебно-методический комплекс (далее УМК) междисциплинарного курса «МДК01.01 Электрические машины и аппараты является обязательной составной частью основной профессиональной образовательной программы по специальности, используемой в процессе преподавания и изучения междисциплинарного курса.

УМК является основным средством решения задачи оснащения учебного процесса учебно-методическими, справочными и другими материалами, позволяющими улучшить качество подготовки специалистов. Для студентов второго курса очного и заочного обучения.

Введение

Специалисты, занимающиеся эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом электрического и электромеханического оборудования, должны быть хорошо знакомы с механическим оборудованием, технологией, понимать электрическую схему работы того или иного механизма. Всё это требует от инженерно-технического персонала изучения теоретических основ электропривода, управления электроприводами, а также специальных курсов, одним из которых является «Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования».

При подъёме промышленности специалисты указанного направления требуются прежде всего. Современный специалист должен обладать достаточными знаниями, чтобы самостоятельно принимать грамотные решения при эксплуатации. Для этого необходимо понимать специфические особенности того или иного механизма.

В программе междисциплинарного курса «Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования» рассматриваются вопросы электрооборудования подъёмных кранов, подъёмников, механизмов непрерывного транспорта, насосов и вентиляторов. Отдельную тему составляют механизмы бытовой техники.

Учебно-методический комплекс разработан в соответствии с рабочей учебной программой междисциплинарного курса «Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования», которая является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования и составлен на основе Примерной программы междисциплинарного курса Электрические машины и аппараты - ПМ 01 «Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования». Междисциплинарный курс «Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования» входит в профессиональный модуль основной профессиональной образовательной программы «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования».

В результате выполнения контрольных заданий, лабораторных работ и изучения теоретической части дисциплины студент должен

уметь: осуществлять коммутацию в электроустановках по принципиальным схемам;

- читать и выполнять рабочие чертежи электроустановок;

- контролировать режимы работы электроустановок;

знать: основные законы электротехники;

- классификацию кабельных изделий, их область применения;

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические работы по ПМ 01. Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования МДК01.01 Электрические машины и аппараты проводятся в лекционной аудитории.

Перед выполнением практических работ студент должен строго выполнить весь объем домашней подготовки; знать, что выполнению каждой работы предшествует проверка готовности студента.

При выполнении работ студент должен самостоятельно изучить методические рекомендации по проведению конкретной работы; выполнить соответствующие расчеты; пользоваться справочной и технической литературой; подготовить ответы на контрольные вопросы.

Изучая теоретическое обоснование, студент должен иметь в виду, что основной целью изучения теории является умение применить ее на практике для решения практических задач.

При решении задач рекомендуется сначала наметить ход решения. В случае простых задач рекомендуется сначала найти решение в общем виде, лишь в конце поставляя числовые значения. В случае задач с большим вычислением рекомендуется после того, как намечен ход решения, подставлять числовые значения и проводить вычисления в промежуточных формулах.

После выполнения работы студент должен представить отчет о проделанной работе с полученными результатами и выводами и устно ее защитить. Отчеты по практическим работам выполняются в отдельной тетради в клетку. Необходимо оставлять поля шириной 25-30 мм для замечаний преподавателя.

Все схемы и рисунки, сопровождающие выполнение практических работ, выполняются карандашом в соответствии с требованиями ГОСТ.

Дифференцированный зачет выставляется по итогам выполнения и защиты каждой практической работы. При отсутствии студента по неуважительные причины студент выполняет работу самостоятельно, в свое личное время и защищает на консультации по указанию преподавателя.

Неаккуратное выполнение практической работы, несоблюдение принятых правил и плохое оформление чертежей и схем могут послужить причиной возвращения работы для доработки.

Раздел. Электрические измерения

Тема: Классификация и маркировка электроизмерительных приборов.

Цель работы; Научиться работать с учебным материалом, вычленять из него главное, анализировать и систематизировать имеющийся материал, сформировать способность систематизировать материал и уметь структурировать информацию.

Ход работы; Предварительно внимательно просмотреть материал, проанализировать его, выбрать главное и второстепенное. Выбрать оптимальную форму таблицы; информацию представить в сжатом виде и заполнить ею основные графы таблицы; пользуясь готовой таблицей, эффективно подготовиться к контролю по заданной теме.

Форма отчетности и контроля: конспект, таблица, оценка составления таблицы по классификации.










Теория; Наиболее существенным признаком для классификации электроизмерительной аппаратуры является измеряемая или воспроизводимая физическая величина, в соответствии с этим приборы подразделяются на ряд видов:

- **амперметры** — для измерения силы электрического тока;
- **вольтметры** — для измерения электрического напряжения;
- **омметры** — для измерения электрического сопротивления;
- **мульти метры** (иначе тестеры, авометры) — комбинированные приборы
- **частотомеры** — для измерения частоты колебаний электрического тока;
- **магазины сопротивлений** — для воспроизведения заданных сопротивлений;
- **ваттметры и варметры** — для измерения мощности электрического тока;
- **электрические счётчики** — для измерения потреблённой электроэнергии
- и множество других видов

Кроме этого существуют классификации по другим признакам:

- по назначению — измерительные приборы, меры, измерительные преобразователи, установки системы, вспомогательные устройства;
- по способу представления результатов измерений — показывающие и регистрирующие (в виде графика на бумаге или фотоплёнке, распечатки, либо в электронном виде);
- по методу измерения — приборы непосредственной оценки и приборы сравнения;
- по способу применения и по конструкции — щитовые (закрепляемые на щите или панели), переносные и стационарные;
- по принципу действия:
 - электромеханические
 - магнитоэлектрические;
 - электромагнитные;
 - электродинамические;
 - электростатические;
 - ферродинамические;
 - индукционные;
 - магнитодинамические;
 - электронные;
 - термоэлектрические;

Обозначения элементов активных элементов

Полупроводниковый диод с изолированным катодом	
Криптодиодный диод с маркировкой	
Полупроводниковый диод с изолированным анодом	
Криптодиодный диод с маркировкой	
Двухполупроводниковый диод	
Трёхполупроводниковый диод	
Двухполупроводниковый диод с маркировкой	
Трёхполупроводниковый диод	
Трёхполупроводниковый диод	
Фурье-диодный диод	
Фурье-диодный диод	
Диодный диод	
Диодный диод	
Криптодиодный диод	
Двухполупроводниковый диод	
Диодный диод (маркировка)	
Диодный диод (маркировка)	
Диодный диод	
Двухполупроводниковый диод с маркировкой	
Трёхполупроводниковый диод	
Трёхполупроводниковый диод	
Диодный диод	
Диодный диод	

Графические обозначения по ГОСТ 23217

В зарубежных странах обозначения средств измерений устанавливаются предприятиями-изготовителями, в России (и частично в других странах СНГ) традиционно принята унифицированная система обозначений, основанная на принципах действия электроизмерительных приборов. В состав обозначения входит прописная русская буква, соответствующая принципу действия прибора, и число — условный номер модели. Например, С197 — киловольтметр электростатический. К обозначению могут добавляться буквы М (модернизированный), К (контактный) и другие, отмечающие конструктивные особенности или модификации приборов.

- **В** — приборы вибрационного типа (язычковые)
- **Д** — электродинамические приборы
- **Е** — измерительные преобразователи
- **И** — индукционные приборы
- **К** — многоканальные и комплексные измерительные установки, и системы
- **Л** — логометры
- **М** — магнитоэлектрические приборы
- **Н** — самопишущие приборы
- **П** — вспомогательные измерительные устройства
- **Р** — меры, измерительные преобразователи, приборы для измерения параметров элементов электрических цепей
- **С** — электростатические приборы
- **Т** — термоэлектрические приборы
- **У** — измерительные установки
- **Ф** — электронные приборы
- **Х** — нормальные элементы
- **Ц** — приборы выпрямительного типа
- **Ш** — измерительные преобразователи
- **Щ** — щитовые приборы
- **Э** — электромагнитные приборы

Контрольные вопросы;

1. Погрешности прибора не должны превышать значений, установленных ГОСТ 1845-59 для того класса точности, к которому он относился.
2. Мощность потерь в приборе должна быть возможно меньшей.
3. Шкала прибора должна быть по возможности равномерной.
4. Прибор должен обладать хорошим успокоением колебаний при перемещении стрелки и хорошей изоляцией.
5. Прибор должен быть выносливым к перегрузкам.

Раздел: Электрические машины

Тема: Физические основы работы и использования электрических машин.

Цель работы; Научиться работать с учебным материалом, вычленять из него главное, систематизировать имеющийся материал, строить логические связи изученного материала.

Ход работы; Изучить теоретический материал, составить опорный конспект

Теория;

Что обычно представляет человек, когда он слышит выражение — электрические машины? Пожалуй, это что-то движущееся и работающее от электричества. Всё верно. Следовательно, электрические машины — электромеханические устройства, которые способны преобразовывать электрическую энергию в механическую и обратно. Думаю, Вам не трудно будет догадаться, какие устройства можно отнести к электрическим машинам — это все виды электродвигателей, электрогенераторов и трансформаторов (о них особый разговор).



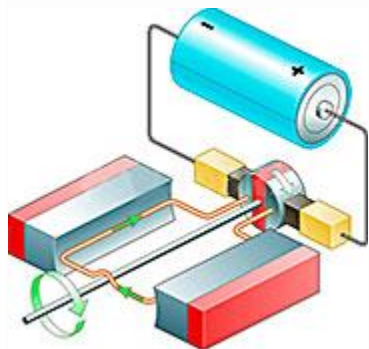
Большинству людей живущим в наше время хорошо известно: электродвигателя представляют собой устройства, которые начинают и продолжают вращаться при подсоединении к ним электрических проводов и подачи на них напряжения (то есть, пропускании через внутреннюю катушку самого двигателя электрического тока). Электрогенераторы, в общем, это те же электродвигатели, только они сами начинают вырабатывать электричество, если их начать и продолжать принудительно вращать, тем самым механику превращать в электрик.

В основе работы электрических машин лежат два физических явления: это воздействие силы Лоренса и проявление электромагнитной индукции, что действуют на проводник с электрическим током, перемещающегося в магнитном поле. Теперь более простыми словами — что бы понять принцип действия и работу электрических машин давайте заглянем внутрь процессов.

Как мы помним из школьной физики и химии, металл в твёрдом состоянии представляет собой множество мельчайших частичек (атомов) держащихся друг за друга под воздействием внутренних полей (которым обладает каждый атом в отдельности). Каждый атом состоит из ядра (кучка протонов и нейтронов) вокруг которого по орбитам носятся малюсенькие электрончики. Именно в металлах электроны, которые расположены дальше всех от ядра могут легко отрываться и перелетать на соседние атомы. Такие электроны называются свободными.

Каждый электрон имеет вокруг себя поля (электрические и магнитные). Поля служат неким посредником при взаимодействии друг с другом электронов. То есть, поля двух электронов будут отталкиваться друг от друга, не давая возможности приблизиться этим электронам на более близкое расстояние. А если этих электронов много, то и сила их

отталкивания будет значительной. Стоит добавить, наиболее эффективным полем для использования в электрических машинах является магнитное. Оно существует вокруг движущихся электронов и в постоянном магните (о работе магнита будет отдельная статья).



Подводим итог, есть металл в виде проволоки, в нём существует множество свободных электронов, каждый электрон имеет вокруг себя поля. Если взять обычный постоянный магнит, вокруг которого на некотором расстоянии имеется магнитное поле и приблизить к проволоке, то поле магнита подействует на поля каждого из электронов. В результате наше механическое движение с магнитом превратится в электрическое движение электронов внутри проволоки (принцип электрогенератора). И на оборот, если пропустить электроток по проводу, то возникшее магнитное поле вокруг медной проволоки будет отталкивать наш постоянный магнит в наших руке (принцип электродвигателя).

Теперь что касается трансформатора. Трансформатор, по идеи, нельзя назвать электрической машиной, поскольку он не использует в своей основной работе механических движений и не соответствует нашей формулировке. Как мы знаем, трансформатор преобразует электрический ток и напряжение в магнитное поле (магнитный поток в сердечнике), а потом наоборот.

Однако внутренние электромагнитные процессы, что протекают в них, полностью аналогичны тем, которые происходят при работе электрических машин. Кроме этого, как трансформаторам, так и электрическим машинам свойственна единая природа электромагнитных и энергетических процессов, присутствующих при работе проводника с током и магнитного поля. Поэтому трансформаторы принято относить к электрическим машинам.

Основные функции электрических машин:

преобразование энергии — в качестве двигателя или генератора;

- преобразование величины напряжения;
- преобразование переменного тока в постоянный;
- повышение коэффициента мощности электрических установок;
- усиление мощности электрических сигналов.

Контрольные вопросы;

1. Какие два физических явления лежат в основе работы электрических машин

Тема: Преобразование видов энергии в электрических машинах. Электрические машины постоянного тока.

Цель работы; Научиться работать с учебным материалом, вычленять из него главное, систематизировать имеющийся материал, строить логические связи изученного материала.

Ход работы; Изучить теоретический материал, составить опорный конспект

Теория; Электрические машины разделяют по назначению на два основных вида: *электрические генераторы и электрические двигатели*. Генераторы предназначены для выработки электрической энергии, а электродвигатели — для приведения в движение колесных пар локомотивов, вращения валов вентиляторов, компрессоров и т. п.

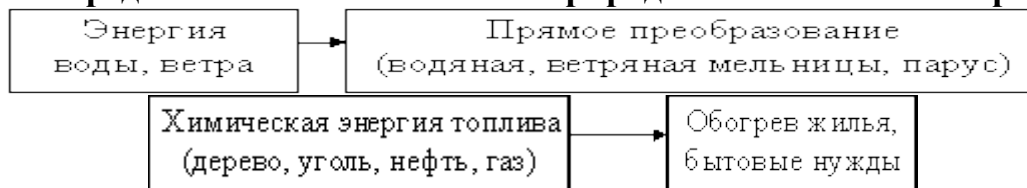
В электрических машинах происходит процесс преобразования энергии. Генераторы преобразуют механическую энергию в электрическую. Это означает, что для работы генератора надо вращать его вал каким-либо двигателем. На тепловозе, например, генератор приводят во вращение дизелем, на тепловой электростанции — паровой турбиной, на гидроэлектростанции — водяной турбиной. Электрические двигатели, наоборот, преобразуют электрическую энергию в механическую. Поэтому для работы двигателя его надо соединить проводами с источником электрической энергии, или, как говорят, включить в электрическую сеть.

Принцип действия любой электрической машины основан на использовании явлений электромагнитной индукции и возникновения электромагнитных сил при взаимодействии проводников с током и магнитного поля. Эти явления имеют место при работе как генератора, так и электродвигателя. Поэтому часто говорят о *генераторном и двигательном режимах работы электрических машин*.

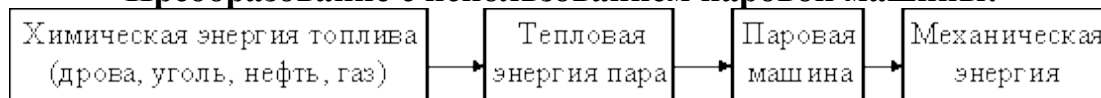
Во вращающихся электрических машинах в процессе преобразования энергии участвуют две основные части: якорь и индуктор со своими обмотками, которые перемещаются относительно друг друга. Индуктор создает в машине магнитное поле; в обмотке якоря индуцируется э. д. с. и возникает ток. При взаимодействии тока в обмотке якоря с магнитным полем создаются электромагнитные силы, посредством которых реализуется процесс преобразования энергии в машине.

Возможные схемы преобразования энергии

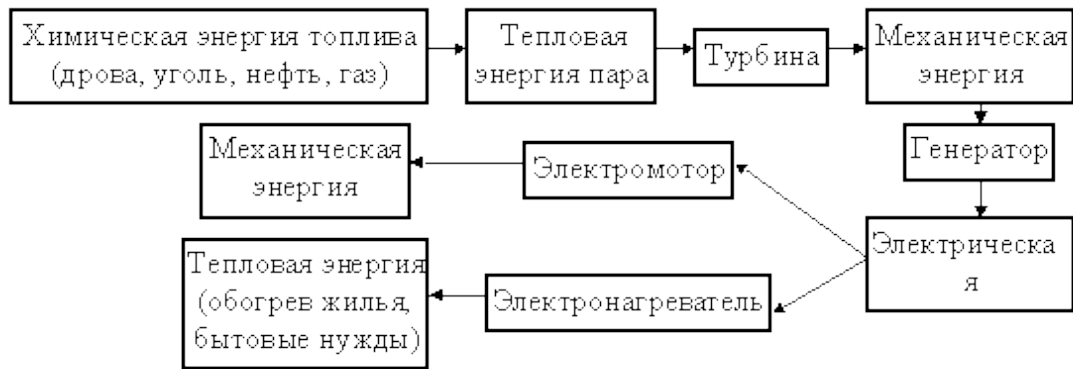
Непосредственное использование природных источников энергии:



Преобразование с использованием паровой машины:



Преобразование с использованием электроэнергии



Преобразование энергии в промышленной энергетике.

Как было сказано выше, производство электроэнергии является отдельной отраслью промышленности. В настоящее время наибольшую долю электроэнергии производят на трех видах электростанций:

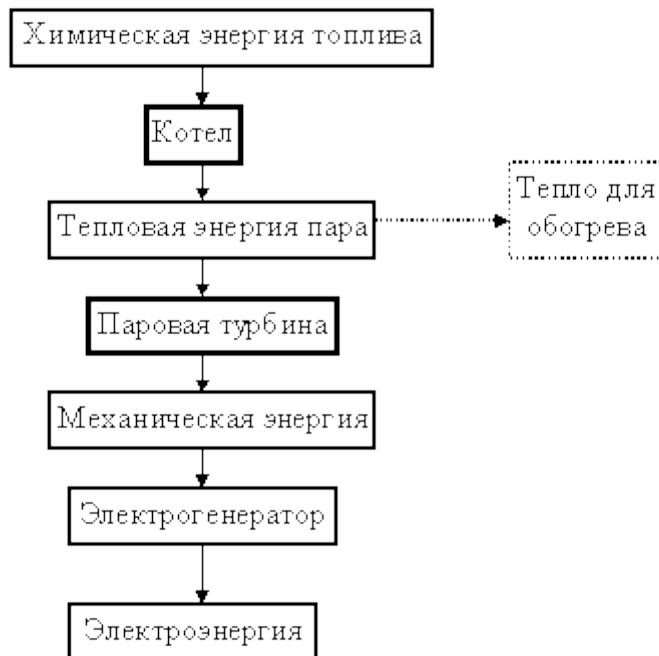
1. ГЭС (гидроэлектростанция);
2. ТЭС (теплоэлектростанция);
3. АЭС (атомная электростанция).

Рассмотрим преобразование энергии на этих видах электростанций

ГЭС.

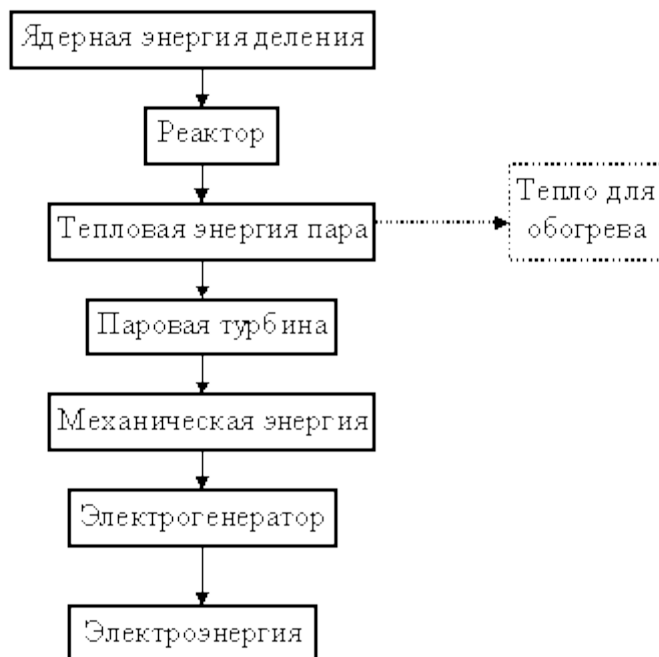


ТЭС.



При использовании тепловой энергии пара, в цепочке преобразования энергии появляется возможность использовать часть тепловой энергии для обогрева (показано пунктиром) или для нужд производства.

АЭС (с одноконтурным реактором).



Контрольные вопросы;

1. Какие виды энергии преобразуют;

- a. ГЭС (гидроэлектростанция);
- b. ТЭС (теплоэлектростанция);
- c. АЭС (атомная электростанция).

Тема: Принцип работы электрических машин постоянного тока

Лабораторная работа: Исследование двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

Цель: Изучить устройство двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы соединений, включений и регулировке двигателя, а также опытным исследованием двигателя для получения данных его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах двигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

Студент должен знать:

- устройство, принцип действия и характеристики двигателя возбуждения;

уметь:

- производить пуск двигателя постоянного тока последовательного возбуждения;
- изменять направление вращения;
- регулировать скорость двигателей;
- снимать рабочие и регулировочные характеристики.

Теоретическая часть.

Схема соединений и пробный пуск двигателя. Схема соединений двигателя последовательного возбуждения (рисунок 15.1) включает в себя двухзажимный пусковой реостат $ПР$, регулировочный реостат $r_{рг}$, шунтирующий обмотку возбуждения (подключается к обмотке возбуждения ключом K) и два амперметра: $A1$ - для измерения тока якоря I_a и $A2$ для измерения тока в обмотке возбуждения (при разомкнутом ключе K оба амперметра дают одинаковые показания). Напряжение сети контролирует вольтметр V .

В качестве нагрузочного устройства в схеме предусмотрен электромагнитный тормоз $ЭМТ$. Возможно применение и других нагрузочных устройств. Особенностью пуска двигателей последовательного возбуждения является необходимость пуска их под нагрузкой не менее 25% от номинальной. Объясняется это тем, что частота вращения якоря двигателя обратно пропорциональна магнитному потоку Φ , который при ненасыщенной магнитной цепи пропорционален току в обмотке возбуждения I_b , т. е. току якоря I_a , так как в рассматриваемом двигателе (при разомкнутом K) $I_b = I_a$. Поэтому при отсутствии нагрузки на валу двигателя или при недостаточной ее величине, когда ток в якоре составляет небольшую величину, частота вращения достигает недопустимо больших значений и возникает опасность «разноса» двигателя. Учитывая это обстоятельство, необходимо следить за тем, чтобы двигатель постоянно находился под нагрузкой не менее 25% от номинальной.

Создав нагрузку на двигатель, замыкают рубильник PI и постепенно выводят сопротивление $ПР$ (ключ K при этом должен быть разомкнут). Затем, установив на

регулируемом реостате $r_{\text{рт}}$ максимальное сопротивление, замыкают ключ K и медленно перемещают движок (рычаг) $r_{\text{рт}}$, наблюдая за изменением частоты вращения двигателя.

Рабочие характеристики. Эти характеристики представляют собой зависимость частоты вращения n , момента на валу M_2 и полезной мощности P_2 от тока в обмотке якоря (тока нагрузки) I_a при номинальном напряжении питания $U = U_{\text{ном}}$ и при разомкнутом ключе K .

Включив двигатель, увеличивают нагрузку на его валу до значения, на котором $I_a = 1,2 I_{\text{ном}}$. Затем двигатель постепенно разгружают до значения тока нагрузки $I_a = 0,25 I_{\text{ном}}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I_a снимают показания приборов (не менее пяти показаний) и заносят их в таблицу 15.1.

Полезная мощность двигателя (Вт)

$$P_2 = 0,105 M_2 n, \quad (15.1)$$

По данным таблицы строят рабочие характеристики двигателя в одних осях координат.

Характеристика $n = f(I_a)$. После пуска двигателя увеличивают нагрузку на его валу до значения, при котором ток якоря $I_a = 0,75 I_{\text{ном}}$. Измерив частоту вращения, замыкают ключ K , предварительно установив на $r_{\text{рт}}$ наибольшее сопротивление. Затем постепенно уменьшают сопротивление $r_{\text{рт}}$ до тех пор, пока ток в обмотке возбуждения не достигнет значения $I_b = 0,5 I_a$, что соответствует коэффициенту регулирования $k_{\text{рт}} = I_b / I_a = 0,5$. После этого, не меняя величины сопротивления $r_{\text{рт}}$, постепенно разгружают двигатель. При этом измеряют частоту вращения и ток возбуждения I_b и заносят их в таблицу 17.2. Затем строят график зависимости $n = f(I_a)$.

Анализируя результаты лабораторной работы, необходимо, в первую очередь, установить соответствие номинальных данных исследуемого двигателя, полученных опытным путем, его паспортным данным. Далее следует проанализировать рабочие характеристики двигателя.

Из теории известно, что в зоне небольших нагрузок, соответствующих ненасыщенному состоянию магнитной системы двигателя, скоростная характеристика $n = f(I_a)$ представляет собой график обратной пропорциональности:

$$n = n_{0,25} / (I_a / I_{0,25}) \quad (15.2)$$

а характеристика полезного момента $M_a = f(I_a)$ - график квадратичной зависимости

$$M_2 = M_{0,25} (I_a / I_{0,25})^2 \quad (15.3)$$

В этих выражениях $I_{0,25}$ и $M_{0,25}$ - частота вращения и полезный момент при нагрузке двигателя, соответствующей току якоря $I_{0,25} = 0,25 I_{\text{ном}}$.

Задав ряд значений отношения $I_a / I_{0,25}$, например 1,0; 1,6; 2,4; 3,2; 4,0, определяют соответствующие им значения n' и M_2 и заносят их в таблицу 15.3.

Ход работы

1. Ознакомиться с конструкцией двигателя и нагрузочного устройства; записать паспортные данные двигателя измерительных приборов.
2. Собрать схему по рисунку, и после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск двигателя, предварительно нагрузив его.
3. При разомкнутом ключе K , снять данные и построить рабочие характеристики двигателя.
4. При замкнутом ключе K , (шунтирующем обмотку возбуждения) снять данные и построить график зависимости частоты вращения от тока в обмотке возбуждения I_b .

Таблица 15.1 – Результаты измерений

Номер измерения	$U, В$	$I_a, А$	$n, об/мин$	$M_2, Нм$	$P_2, Вт$

Таблица 15.2– Результаты измерений

$n, об/мин$					
$I_b, А$					

Таблица 15.3– Результаты измерений

$I_a/I_{0,25}$	1,0	1,6	2,4	3,2	4,0
$I_a, А$					
$n', об/мин$					
$M_2, Нм$					

По полученным данным строят графики $n' = f(I_0)$ и $M_2 = f(I_a)$ в одних осях координат с рабочими характеристиками (тонкими линиями). Сравнив эти графики с рабочими характеристиками, делают заключение, насколько опытные кривые отличаются от теоретических и при какой нагрузке это отличие становится наиболее значительным.

5. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Почему не допускается включение двигателя последовательного возбуждения с нагрузкой менее 25% от номинальной?
2. Что представляют собой рабочие характеристики двигателя последовательного возбуждения?
3. Какие способы регулирования частоты вращения возможны в двигателях последовательного возбуждения?
4. Чем объясняются особые свойства двигателей последовательного возбуждения по сравнению с двигателями параллельного возбуждения?
5. Для привода, каких механизмов в основном применяются двигатели последовательного возбуждения?

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения - рисунок 17.1.
3. Паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
4. Ход работы.
5. Результаты измерений и расчетов - таблицы 15.1 – 15.3.
6. Рабочие характеристики двигателя,
7. Графики зависимостей $n = f(I_b)$; $n' = f(I_0)$ и $M_2 = f(I_a)$.
8. Контрольные вопросы.
9. Вывод о проделанной работе.

Тема: Якорные обмотки электрических машин постоянного тока. ЭДС обмотки.

Цель работы; Научить работать Обучающегося с учебным материалом, вычленять из него главное, систематизировать имеющийся материал, строить логические связи изученного материала.

Ход работы; Изучить теоретический материал. Составить опорный конспект ответить на контрольные вопросы.

Теория;

Два неподвижных полюса N и S создают магнитный поток. В пространстве между полюсами помещается стальной сердечник в виде цилиндра (рис. 7.1.1).

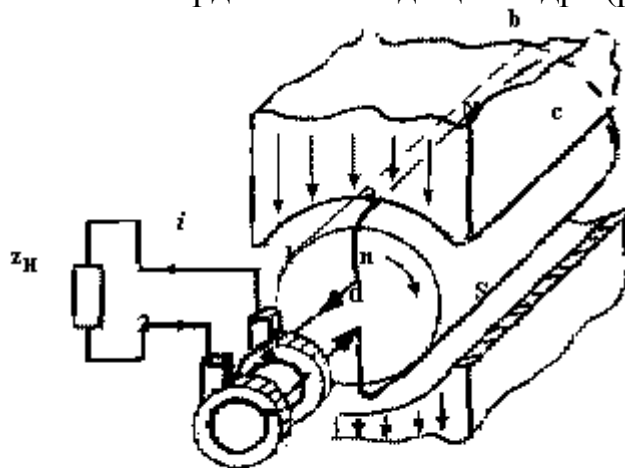


Рис. 7.1.1. К принципу действия машины постоянного тока

На наружной поверхности цилиндра помещен виток медной проволоки $abcd$, изолированный от сердечника. Концы его присоединены к двум кольцам, на которые наложены щетки 1 и 2. К щеткам подключена нагрузка zH . Если вращать сердечник с частотой n в указанном на рисунке направлении, то виток $abcd$, вращаясь, будет пересекать магнитные силовые линии, на концах его будет наводиться ЭДС. И если к витку подключена нагрузка zH , то потечет ток. Направление тока определится правилом "правой руки". Из рисунка видно, что направление тока будет от точек b к a и от d к c . Соответственно во внешней цепи ток течет от щетки 1 к щетке 2. Щетку 1, от которой отводится ток во внешнюю цепь, обозначим (+), а щетку 2, через которую ток возвращается в машину обозначим (-). При повороте витка на 180° проводники ab и cd меняются местами, изменяется знак потенциала на щетках 1 и 2 и изменится на обратное направление ток во внешней цепи. Таким образом, во внешней цепи течет переменный синусоидальный ток (рис. 7.1.2).

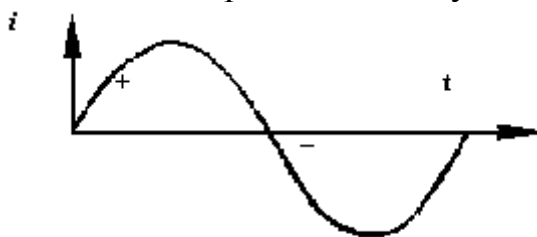


Рис. 7.1.2. График изменения тока

Чтобы выпрямить переменный ток, необходимо в машине применить коллектор (рис. 7.1.3).

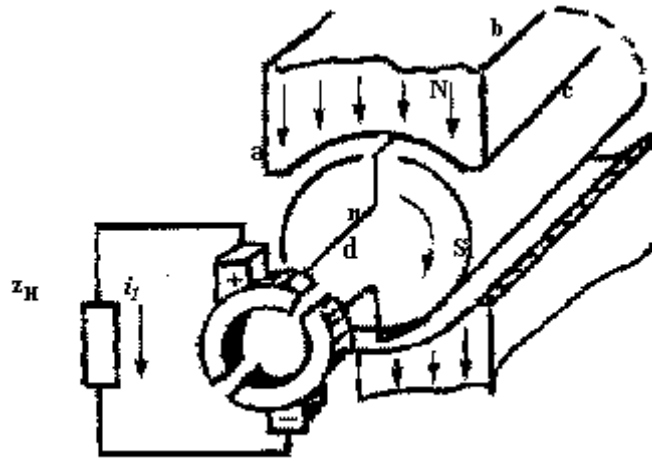


Рис. 7.1.3. Схема выпрямления тока

В простейшем случае это два полукольца и к ним припаиваются концы витков $abcd$. Полукольца изолированы друг от друга и от вала. При вращении в витке $abcd$ в нем попеременно возникает переменная ЭДС, но под каждой щеткой будет ЭДС только одного знака: верхняя щетка будет иметь всегда (+), а нижняя - всегда (-). Кривая тока во внешней цепи будет иметь другую форму (рис. 7.1.4).

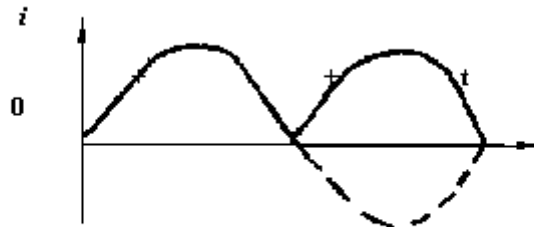


Рис. 7.1.4. График выпрямленного тока двумя полукольцами

Из графика видно, что нижняя полуволна заменена верхней. Если применить не один виток, а два и присоединить их концы к коллекторным пластинам, которых теперь 4, то кривая выпрямленного тока будет иной. При наличии нескольких витков кривая выпрямленного напряжения будет более сглаженной (рис. 7.1.5).

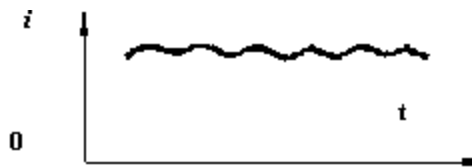


Рис. 7.1.5. Графики выпрямления тока коллектором

Машина постоянного тока конструктивно состоит из неподвижной части - статора и вращающейся - ротора. Статор имеет станину, на внутренней поверхности которой крепятся магнитные полюсы с обмотками (рис. 7.1.6).

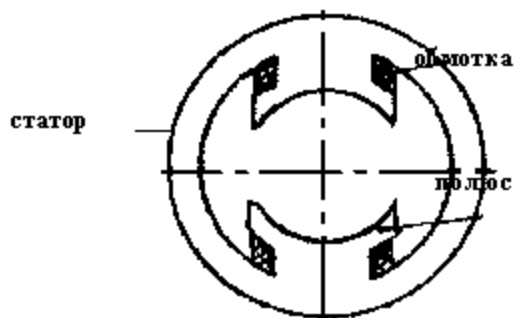


Рис. 7.1.6. Статор машины постоянного тока

Ротор машины чаще называется якорем. Он состоит из вала, цилиндрического сердечника, обмотки и коллектора (рис. 7.1.7).

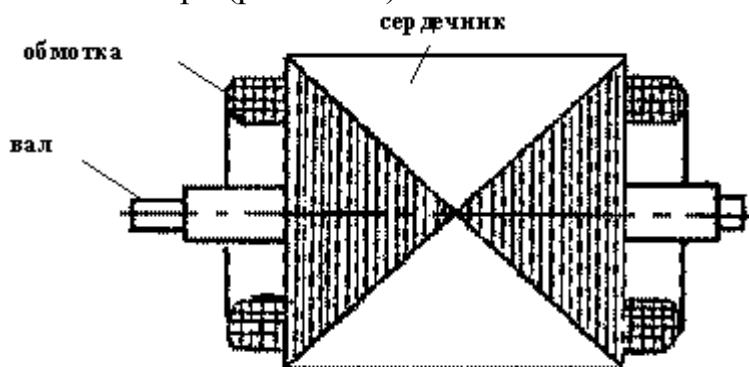


Рис. 7.1.7. Якорь машины постоянного тока

Магнитные полюсы и сердечник якоря набираются из отдельных листов электротехнической стали. Листы покрываются изолированной бумагой или лаком для уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи. Коллектор набирают из медных пластин, имеющих сложную форму (рис. 7.1.8). Пластины друг от друга изолированы специальной теплостойкой прокладкой. Такая же изоляция имеется между коллектором и валом двигателя. Набор коллекторных пластин образует, цилиндр-коллектор.

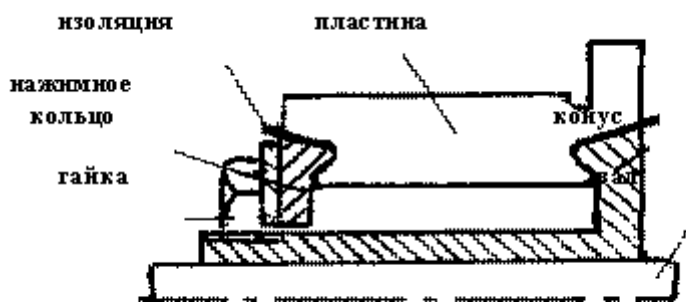


Рис. 7.1.8. Коллектор машины постоянного тока

К внешней поверхности коллектора прилегают токосъемные щетки, которые выполнены из спрессованного медного и угольного порошка. Щетка помещается в металлическую обойму и прижимается к коллектору пружинами (рис. 7.1.9).

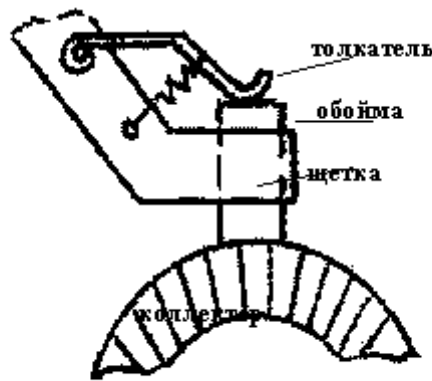


Рис. 7.1.9. Щеточное устройство

7.2. СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Возбуждение - это понятие, связанное с созданием основного магнитного поля машины. В машинах с электромагнитным возбуждением основное поле создается обмотками возбуждения. Имеются конструкции, в которых возбуждение создается постоянными магнитами, размещенными на статоре. Различают четыре схемы включения статорных обмоток: с независимым, параллельным, последовательным и смешанным возбуждением (рис. 7.2.1).

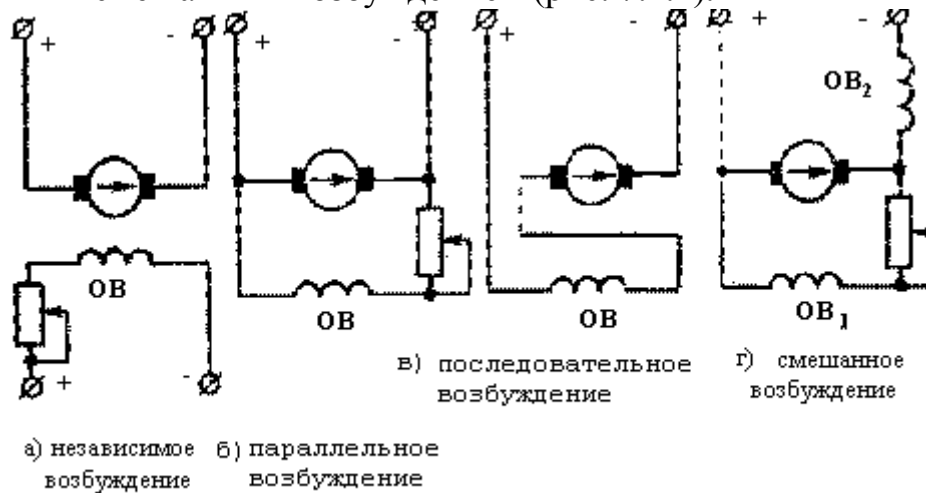


Рис. 7.2.1. Схемы возбуждения машин постоянного тока

Изображения под пунктами б, в, г на рис. 7.2.1, называются схемами самовозбуждения. Процесс самовозбуждения происходит за счет остаточной намагниченности полюсов и станины. При вращении якоря в этом, небольшом по величине, магнитном поле ($\Phi_{ост} = 0,02 \dots 0,03 \Phi_0$) индуцируется ЭДС - $E_{ост}$. Поскольку обмотка возбуждения подключена через щетки к якорю, то в ней будет протекать ток. Этот ток усилит магнитное поле полюсов и приведет к увеличению ЭДС якоря. Большая ЭДС вновь увеличит ток возбуждения и произойдет нарастание магнитного потока до полного намагничивания машины.

7.3. ОБМОТКИ ЯКОРЯ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для работы машины постоянного тока необходимо наличие двух обмоток; обмотки возбуждения и обмотки якоря. Первая, как известно, служит для создания в машине основного магнитного потока, а во второй происходит преобразование энергии. Обмотка якоря является замкнутой системой проводников, уложенных в пазах. Элементом якорной обмотки является секция, которая может быть одно - или много витковой. Секция состоит из активных сторон и лобовых частей. При вращении якоря, в каждой из активных сторон индуцируется ЭДС, величина которой равна:

$$E_{эф} = B_{эф} \cdot L \cdot V,$$

т.е. она зависит от магнитной индукции полюсов ВСР, длины проводника L и скорости его движения V . В реальной машине, будь она генератором или двигателем, в наведении ЭДС участвуют все проводники обмотки якоря. Величина суммарной ЭДС:

$$E = C_e \cdot n \cdot \Phi,$$

где n - скорость вращения якоря (ротора), об/мин;
 Φ - магнитный поток полюсов;
 C_e - постоянный коэффициент, зависящий от количества витков в секции. Обмотка якоря может быть петлевой и волновой. Петлевая обмотка, если ее изобразить в развернутом виде, имеет следующий вид (рис. 7.3.1):

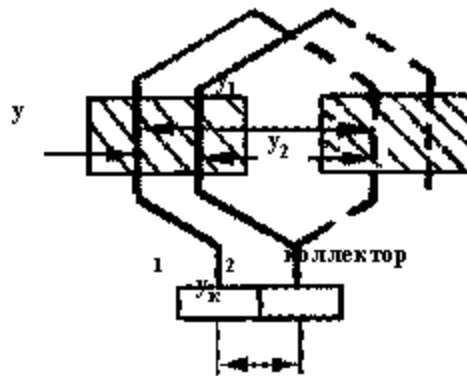


Рис. 7.3.1. Петлевая обмотка якоря

Расстояние между активными сторонами одной секции называется первым шагом обмотки - y_1 . Расстояние между началом второй секции и концом первой называется вторым шагом обмотки - y_2 . Расстояние между, началами секций, следующих друг за другом, называется результатирующим шагом - y . Шаги обмотки определяются числом пазов.

Расстояние между коллекторными пластинами, куда припаиваются начало и конец, принадлежащие одной секции, называется шагом по коллектору - y_k . В петлевой обмотке $y_k = 1$. Шаг y_k определяется числом коллекторных пластин. Развернутая волновая обмотка имеет вид: (рис. 7.3.2).

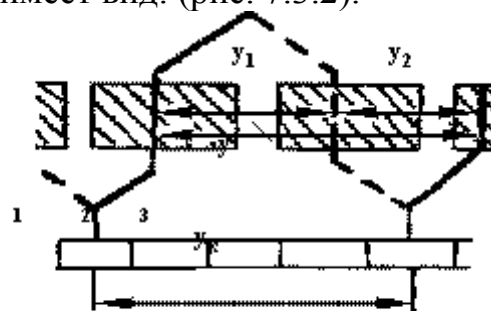


Рис. 7.3.2. Волновая обмотка якоря

Форма волновой обмотки отлична от петлевой и, следовательно, будет иное соединение секций.

Однако шаги волновой обмотки имеют общее с петлевой определением. Шаг по коллектору здесь значительно больше единицы ($y_k \gg 1$).

Контрольные вопросы

1. Шаг волновой обмотки
2. Как называется расстояние между активными сторонами одной секции называется
3. Продолжите предложение; Возбуждение - это понятие.....

Тема: Магнитная цепь Машины постоянного тока

Цель: Научиться производить расчет простейших магнитных цепей электрических аппаратов.

Студент должен *знать*:

- функциональное назначение магнитных цепей электрических аппаратов, виды электромагнитных механизмов, их характеристики;
- особенности электромагнитных механизмов переменного тока; способы ускорения и замедления срабатывания электромагнитов;

уметь:

- проводить расчеты простейших магнитных цепей электрических аппаратов;
- пользоваться справочной литературой.

Ход работы; Изучить теоретический материал. Произвести расчет магнитной цепи.

Ответить на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Часть электротехнического устройства, отдельные участки которого выполнены из ферромагнитных материалов, по которым замыкается магнитный поток, называется *магнитной цепью*.

Магнитная цепь, которая выполнена из одного материала и по всей длине имеет одинаковое сечение, называется *однородной*.

Неоднородная магнитная цепь состоит из нескольких однородных участков, отличающихся длиной, сечением и материалом. Наиболее часто встречаются магнитные цепи, в которых кроме ферромагнитных участков имеются воздушные зазоры. Неоднородная цепь, изображенная на рисунке 11.1, *а*, имеет 3 участка, одним из которых является воздушный зазор.

Магнитные цепи, как и электрические, бывают неразветвленными (рисунок 11.1, *а*) и разветвленными (рисунок 11.1, *б*).

Характерной особенностью неразветвленной магнитной цепи является неизменный магнитный поток Φ во всех участках цепи (рисунок 11.1, *а*).

Для разветвленной цепи характерно то, что алгебраическая сумма магнитных потоков в точке разветвления равна нулю, т. е. $\Sigma\Phi = 0$ - первый закон Кирхгофа для магнитной цепи. Для разветвленной цепи (рисунок 12.1, *б*) можно записать

$$\Phi - \Phi_1 - \Phi_2 = 0 \text{ или } \Phi = \Phi_1 + \Phi_2.$$

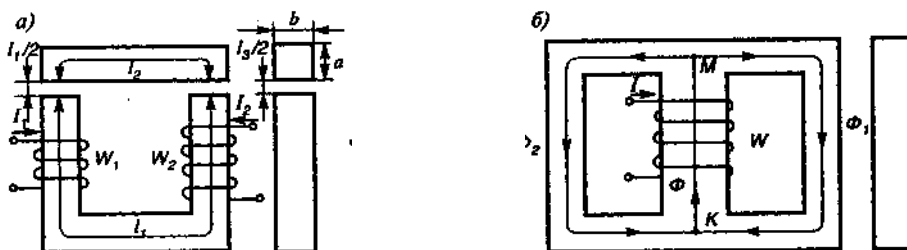


Рисунок 11.1 – Симметричная магнитная цепь

Разветвленные магнитные цепи бывают симметричными и несимметричными. На рисунке 11.1, *б* изображена симметричная цепь, так как левая и правая ее части имеют одинаковые размеры и выполнены из одного материала.

Магнитный поток в сердечнике кольцевой катушки (рисунок 11.1, *a*) определяется выражением:

$$\Phi = B \cdot S = \mu_0 \mu_r H S = \mu_0 \mu_r \frac{IW}{l} S \quad (11.1)$$

Или иначе:

$$\Phi = \frac{IW}{l / \mu_0 \mu_r S} \quad (11.2)$$

где IW - намагничивающая сила или магнитное напряжение U_m ;

l и S - параметры сердечника;

$\frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$ - магнитное сопротивление сердечника.

Тогда

$$\Phi = \frac{U_m}{R_m} \quad (11.3)$$

Выражение (11.3) - математическая запись закона Ома для магнитной цепи.

Для неоднородной, неразветвленной магнитной цепи, изображенной на рисунке 11.1, *a*, магнитный поток, созданный в магнитной цепи двумя обмотками по закону Ома, определяется формулой:

$$\Phi = \frac{I_1 W_1 \pm I_2 W_2}{\frac{l_1}{\mu_0 \mu_r S_1} + \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r S_2} + \frac{l_3}{\mu_0 \mu_r S_3}} \quad (11.4)$$

Между ампер-витками обеих обмоток стоит знак «+» (11.4), если обмотки включены согласно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике одного направления, или знак «-», если они включены встречно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике, направленные в противоположные стороны. Знаменатель выражения (11.4) представляет собой сумму магнитных сопротивлений однородных участков магнитной цепи (рисунок 11.1, *a*). Очевидно, самым большим будет сопротивление воздушного зазора, так как магнитная проницаемость его μ_r во много раз меньше магнитной проницаемости ферромагнитных участков, которые обычно выполняются из магнитно-мягких материалов.

Закон Ома для расчета магнитных цепей практически не используется, так как магнитная цепь нелинейно, т. е. магнитное сопротивление ферромагнитных участков цепи зависит от намагничивающей силы.

Закон Ома решает качественную задачу расчета магнитной цепи, т. е. задачу зависимости одних величин от других.

Для расчета магнитных цепей можно воспользоваться законом полного тока. При этом решается одна из двух задач:

1) Прямая задача, в которой по заданному магнитному потоку Φ в магнитной цепи определяют намагничивающую силу IW .

2) Обратная задача, в которой по заданной намагничивающей силе IW определяют магнитный поток Φ .

Для однородной магнитной цепи прямая задача решается в следующей последовательности:

- а) по заданному магнитному потоку и габаритам цепи определяют магнитную индукцию $B = \Phi/S$;
- б) по кривые намагничивания материала сердечника определяют напряженность H по вычисленной индукции B ;
- в) по закону полного тока определяют намагничивающую силу $IW = Hl$,

где S - сечение магнитопроводе; l - длина средней линии магнитопроводе.

Обратная задача для однородной цепи решается в обратной последовательности, т. е.:

- а) по закону полного тока определяют напряженность поля магнитной цепи $H = IW/l$;
- б) по кривые намагничивания материала сердечника определяют магнитную индукцию B , по вычисленному значению напряженности H ;
- в) определяют магнитный поток цепи $\Phi = BS$.

Для неоднородной неразветвленной магнитной цепи (см. рисунок 11.1, а) прямая задача решается в следующей последовательности:

а) по заданному магнитному потоку Φ , который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение, определяют магнитную индукцию B каждый однородный участок

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}; \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}; \quad B_3 = \frac{\Phi}{S_3}, \quad (11.5)$$

где S - площадь сечения участка.

Для прямоугольного сечения (рисунок 11.1, а) $S = av$; для круглого сечения $S = \pi d^2/4$.

Если задана магнитная индукция какого-либо участка $B_{уч}$, то находят магнитный поток этого участка $\Phi_{уч} = B_{уч}S_{уч}$, который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение. Затем определяют магнитную индукцию остальных участков, как показано выше;

б) по кривым намагничивания материалов (Приложение А) определяют напряженности ферро магнитных участков H_1 и H_2 . Напряженность в воздушном зазоре вычисляют по выражению

$$H_3 = \frac{B_3}{\mu_0} \quad (11.6)$$

в) определив длину средней линии каждого участка, по закону полного тока (второй закон Кирхгофа для магнитной цепи), вычисляют намагничивающую силу рассчитываемой магнитной цепи $IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_2 l_2$, или ток I , или витки W .

Ход работы

- 1) Запишите данные для своего варианта, нарисуйте поясняющий рисунок.
- 2) Рассчитайте величины в соответствии с задачами 1 и 2.
- 3) Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
- 4) Используйте свойства магнитных цепей, законы Ома и Кирхгофа для магнитных цепей.

- 5) Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
- 6) Оформите отчет по практической работе.

Задача 1

Определить ток в катушке, имеющей W витков, и магнитную проницаемость сердечника, на котором расположена катушка (рисунок 11.2), выполненном из литой стали, если магнитный поток, созданный током катушки в сердечнике Φ , Вб. Размеры однородной магнитной цепи даны в мм. Исходные данные в таблице 11.1.

Таблица 11.1 - Исходные данные к задаче 1

Вариант	Величины					
	a , мм	b , мм	h , мм	A , мм	W витков	Φ , Вб
1	80	40	260	220	500	$40 \cdot 10^{-4}$
2	50	50	350	250	300	$30 \cdot 10^{-4}$
3	50	100	300	300	200	$1,5 \cdot 10^{-2}$
4	6	6	30	15	1120	$43 \cdot 10^{-4}$
5	25	30	120	100	250	$8 \cdot 10^{-4}$
6	40	40	200	260	2000	$1,92 \cdot 10^{-3}$
7	40	40	160	160	500	$25 \cdot 10^{-4}$
8	70	80	280	360	515	$67,2 \cdot 10^{-4}$
9	60	80	300	400	1200	$80 \cdot 10^{-4}$
10	50	100	300	300	150	$11 \cdot 10^{-2}$

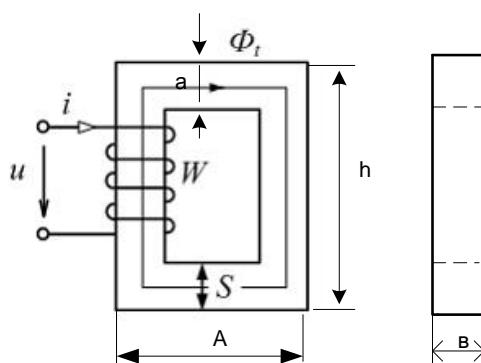


Рисунок 11.2 – К задаче 1

Методические указания к решению задачи № 1

- 1) По заданному магнитному потоку определяем магнитную индукцию в сердечнике $B = \Phi/S$.
- 2) По кривой намагничивания для литой стали (Приложение А) определяем напряженность магнитного поля в сердечнике для вычисленного значения индукции B .
- 3) Величину тока определяем из уравнения закона полного тока $IW = Hl$.

$$I = \frac{Hl}{W}$$

- 4) Магнитная проницаемость литой стали определяется отношением

$$\mu_r = \frac{B}{H\mu_0}$$

Задача 2

По катушке с числом витков W проходит ток I , А. Катушка расположена на сердечнике из электротехнической стали, размеры которого даны в мм. Определить магнитный поток Φ в магнитопроводе (рисунок 11.3) однородной магнитной цепи. Исходные данные в таблице 11.2.

Таблица 11.2 - Исходные данные к задаче 2

Вариант	Величины			
	d , мм	r , мм	W витков	I , А
1	40	100	1120	5
2	50	300	1500	10
3	100	240	600	4
4	30	100	250	2
5	50	120	300	2
6	40	120	500	5
7	6	20	120	1
8	15	60	600	3
9	20	60	150	2
10	60	120	600	6

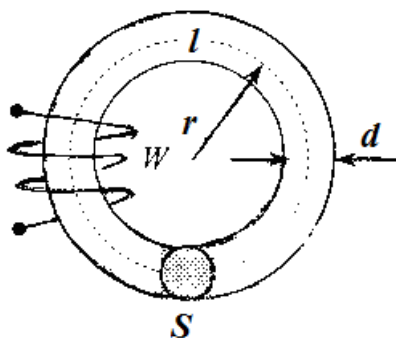


Рисунок 11.3 - К задаче 2

Методические указания к решению задачи 2

1) Напряженность магнитного поля, созданная током катушки, для однородной магнитной цепи

$$H = \frac{IW}{l}$$

где l - длина средней линии кольцевого сердечника.

2) По кривой намагничивания электротехнической стали (Приложение А) определяем B .

3) Магнитный поток в сердечнике

$$\Phi = B \cdot S$$

Контрольные вопросы

- 1) Что называется, магнитной цепью?
- 2) Какая магнитная цепь называется однородной, какая разветвленной?
- 3) Запишите закон Ома для магнитной цепи.
- 4) Как решается прямая задача для однородной магнитной цепи.

Содержание отчета

- 1) Номер, название и цель работы.
- 2) Данные своего варианта с поясняющим рисунком.
- 3) Решение задачи с пояснениями.
- 4) Ответы к решению задачи.
- 5) Ответы на контрольные вопросы.

Тема; Генератор постоянного тока.

Расчет генераторов постоянного тока независимого возбуждения.

Цель: Научиться производить расчет основных параметров генератора постоянного тока независимого возбуждения.

Студент должен *знать*:

- технические параметры генератора постоянного тока независимого возбуждения;

уметь:

- решать задачи по расчету основных параметров генератора постоянного тока независимого возбуждения.

Теоретическое часть

В зависимости от схемы включения обмотки возбуждения различают генераторы параллельного, последовательного, смешанного и независимого возбуждения.

В генераторе постоянного тока с независимым возбуждением обмотка возбуждения не связана электрически с якорной обмоткой. Она питается постоянным током от внешнего источника электрической энергии, например от аккумуляторной батареи; мощные генераторы имеют на общем валу небольшой генератор-возбудитель. Ток возбуждения I_B не зависит от тока якоря I_A , который равен току нагрузки I_H . Обычно ток возбуждения невелик и составляет 1...3 % от номинального тока якоря. Последовательно с обмоткой возбуждения подключен регулировочный реостат (реостат возбуждения). Он изменяет величину тока возбуждения I_B , тем самым регулируется электродвижущая сила E .

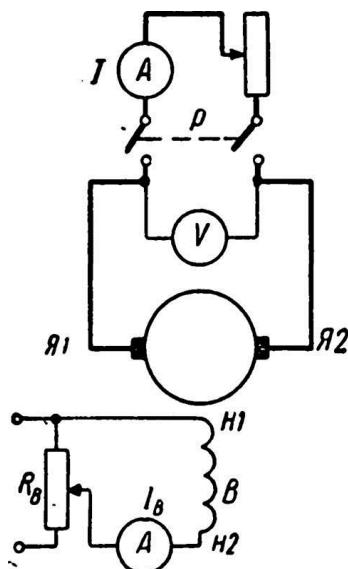


Рисунок 7.1 – Схема генератора постоянного тока независимого возбуждения

Для генератора независимого возбуждения, схема которого показана на рисунке 7.1, ЭДС

$$E = U + r_{\text{я}} I_{\text{я}} \quad (7.1)$$

При номинальном режиме

$$I_{\text{я}} = I_{\text{н}} \text{ и } U = U_{\text{н}} \quad (7.2)$$

КПД генератора равен отношению мощности, отдаваемой к мощности потребляемой

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \quad (7.3)$$

где ΣP - суммарные потери мощности генератора;

P_1 - мощность, передаваемая генератору от привода;

P_2 - полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

К потерям мощности генератора относят электрические потери в обмотках якоря $P_{\text{а}}$ и возбуждения $P_{\text{в}}$, механические потери и потери в стали. Электромагнитная мощность генератора

$$P_{\text{эм}} = I_{\text{я}} E \quad (8.4)$$

Ход работы

- 1) Изобразите схему генератора постоянного тока независимого возбуждения (Рисунок 7.1) и запишите данные для своего варианта (Таблица 7.1).
- 2) При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
- 3) Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
- 4) Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями §28.1, §28.2, (1). Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
- 5) При расчете параметров генератора применяйте законы Кирхгофа, Ома, свойства последовательного и параллельного соединения элементов цепи, используя схему включения генератора (рисунок 7.1).
- 6) Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
- 7) Оформите отчет по практической работе.

Задача

Генератор постоянного тока с независимым возбуждением используется для питания цепей автоматики станка с программным управлением, которые требуют постоянного напряжения. Генератор работает в номинальном режиме и отдает полезную мощность $P_{\text{ном2}}$ при напряжении на зажимах $U_{\text{ном}}$, развивая ЭДС E . Мощность первичного двигателя, вращающего генератор, равна P_1 . Генератор отдает во внешнюю цепь ток нагрузки, равный току якоря $I_{\text{ном}} = I_{\text{я}}$; ток в обмотке возбуждения $I_{\text{в}}$. Сопротивление нагрузки равно $R_{\text{н}}$. Сопротивление обмотки якоря $R_{\text{а}}$, обмотки возбуждения $R_{\text{в}}$. Напряжение на обмотке возбуждения $U_{\text{в}}$. КПД генератора равен $\eta_{\text{ном}}$. Электрические потери в обмотке якоря $P_{\text{а}}$, в обмотке возбуждения $P_{\text{в}}$. Суммарные потери в генераторе равны ΣP . Схема генератора приведена на рисунке 7.1. Используя данные, приведенные в таблице 7.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 7.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{НОМ2}$, кВт	32	-	230	-	-	-	-	110	19	99
$U_{НОМ}$, В	230	460	-	230	230	230	230	-	115	-
E , В	-	-	243	-	233,6	-	-	-	-	-
P_1 , кВт	-	110	-	40	-	-	-	-	23	-
$I_{НОМ}$, А	-	-	-	-	139	826	1000	478	-	-
R_H , Ом	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	2,14
R_a , Ом	0,026	0,054	-	0,07	-	0,006	0,013	-	0,13	-
R_b , Ом	46	-	-	100	-	18,5	11,5	44,5	110	46
U_b , В	115	230	115	-	115	230	115	230	-	230
$\eta_{НОМ}$	0,87	0,90	-	-	-	-	0,90	0,90	-	-
P_a , Вт	-	-	-	-	-	-	-	1140	-	2500
P_b , Вт	-	1150	1150	132	287	-	-	-	110	-
ΣP , кВт	-	-	24	5	4,8	15	-	-	-	11
I_b , А	-	1,15	1,0	2,3	1,15	-	-	-	1,0	-

Контрольные вопросы

- 1) Перечислите способы возбуждения генераторов постоянного тока.
- 2) От чего зависит величина ЭДС, индуцируемой в генераторе постоянного тока?
- 3) От чего зависит напряжение на зажимах генератора?
- 4) Как определить ток нагрузки генератора постоянного тока независимого возбуждения?
- 5) Чем определяются потери энергии генератора постоянного тока?
- 6) Как зависят от нагрузки генератора механические потери, потери в стали, потери в меди, потери в щеточном контакте?

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Данные своего варианта и схема генератора постоянного тока независимого возбуждения.
3. Решение задачи с пояснениями.
4. Ответы к решению задачи.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Тема: Потери и КПД электрических машин.

Цель работы: Научить работать Обучающегося с учебным материалом, вычленять из него главное, систематизировать имеющийся материал, строить логические связи изученного материала.

Ход работы: Изучить теоретический материал. Составить опорный конспект ответить на контрольные вопросы.

Теория: Определение коэффициента полезного действия.

Коэффициент полезного действия электрической машины есть отношение отдаваемой машиной активной мощности P_2 к подводимой к машине активной мощности P_1 ; КПД обычно выражается в процентах:

$$\Pi = 100 P_2/P_1, \text{ или в долях единицы:}$$

$$\Pi = P_2/P_1. (5.1)$$

Электрическая мощность, подводимая к двигателю, и электрическая мощность, отдаваемая в сеть генератором, измеряется непосредственно с помощью ваттметров. Измерение механической мощности, отдаваемой двигателем и подводимой к генератору, встречает затруднение и требует специальных устройств. Это усложняет определение КПД электрических машин.

Подводимая и отдаваемая мощности электрической машины различаются на сумму потерь в ней, которые возникают в процессе взаимного преобразования электрической и механической энергий $P_2 = P_1 - \sum P_{\text{пот}}.$ Исходя из этого, выражение для КПД может быть записано в иной форме:

для двигателей

$$\eta = 1 - \sum P_{\text{пот}}/P_1; (5.2a)$$

для генераторов

$$\eta = 1 - \sum P_{\text{пот}}/(P_2 + \sum P_{\text{пот}}). (5.26)$$

Коэффициент полезного действия определяется как отношение полезной, или отдаваемой, мощности P_2 к потребляемой мощности P_1 :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} (1)$$

или в процентах

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \times 100 (2)$$

Современные электрические машины имеют высокий коэффициент полезного действия (к. п. д.). Так, у машин постоянного тока мощностью 10 кВт к. п. д. составляет 83 – 87%, мощностью 100 кВт – 88 – 93% и мощностью 1000 кВт – 92 – 96%. Лишь малые машины имеют относительно низкие к. п. д.; например, у двигателя постоянного тока мощностью 10 Вт к. п. д. 30 – 40%.

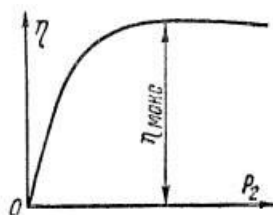


Рисунок 1. Зависимость коэффициента полезного действия электрической машины от нагрузки

Кривая к. п. д. электрической машины $\eta = f(P_2)$ сначала быстро растет с увеличением нагрузки, затем к. п. д. достигает максимального значения (обычно при нагрузке,

близкой к номинальной) и при больших нагрузках уменьшается (рисунок 1). Последнее объясняется тем, что отдельные виды потерь (электрические $I_a^2 r_a$ и добавочные) растут быстрее, чем полезная мощность.

Прямой и косвенный методы определения коэффициента полезного действия

Прямой метод определения к. п. д. по экспериментальным значениям P_1 и P_2 согласно формуле (1) может дать существенную неточность, поскольку, во-первых, P_1 и P_2 являются близкими по значению и, во-вторых, их экспериментальное определение связано с погрешностями. Наибольшие трудности и погрешности вызывает измерение механической мощности.

Если, например, истинные значения мощности $P_1 = 1000$ кВт и $P_2 = 950$ кВт могут быть определены с точностью 2%, то вместо истинного значения к. п. д.

$$\eta = 950/1000 = 0,95$$

можно получить

$$\eta = \frac{950 + 0,02 \times 950}{1000 - 0,02 \times 1000} = \frac{1,02 \times 950}{0,98 \times 1000} = 0,987$$

или

$$\eta = \frac{0,98 \times 950}{1,02 \times 1000} = 0,913$$

Поэтому ГОСТ 25941-83, "Машины электрические вращающиеся. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия", предписывает для машин с $\eta\% \geq 85\%$ косвенный метод определения к. п. д., при котором по экспериментальным данным определяется сумма потерь p_Σ .

Подставив в формулу (1) $P_2 = P_1 - p_\Sigma$, получим

$$\eta = \frac{1 - p_\Sigma}{P_1} \quad (3)$$

Применив здесь подстановку $P_1 = P_2 + p_\Sigma$, получим другой вид формулы:

$$\eta = 1 - \frac{p_\Sigma}{P_2 + p_\Sigma} \quad (4)$$

Так как более удобно и точно можно измерять электрические мощности (для двигателей P_1 и для генераторов P_2), то для двигателей более подходящей является формула (3) и для генераторов формула (4). Методы экспериментального определения отдельных потерь и суммы потерь p_Σ описываются в стандартах на электрические машины и в руководствах по испытанию и исследованию электрических машин. Если даже p_Σ определяется со значительно меньшей точностью, чем P_1 или P_2 , при использовании вместо выражения (1) формул (3) и (4) получаются все же значительно более точные результаты.

Условия максимума коэффициента полезного действия

Различные виды потерь различным образом зависят от нагрузки. Обычно можно считать, что одни виды потерь остаются постоянными при изменении нагрузки, а другие являются переменными. Например, если генератор постоянного тока работает с постоянной скоростью вращения и постоянным потоком возбуждения, то механические и магнитные потери являются также постоянными. Наоборот, электрические потери в обмотках якоря, добавочных полюсов и компенсационной изменяются пропорционально I_a^2 , а в щеточных контактах – пропорционально I_a . Напряжение генератора при этом также приблизительно постоянно, и поэтому с определенной степенью точности $P_2 \sim I_a$.

Таким образом, в общем, несколько идеализированном случае можно положить, что

$$P_2 = U_n \times I = U_n \times I_n \times \frac{I}{I_n}$$

или

$$P_2 = k_{\text{нг}} \times P_{2\text{н}}, \quad (5)$$

где коэффициент нагрузки

$$K_{\text{нг}} = I / I_{\text{н}} = P_2 / P_{2\text{н}} \quad (6)$$

Определяет относительную величину нагрузки машины.

Суммарные потери также можно выразить через $k_{\text{нг}}$:

$$p_{\Sigma} = p_0 + k_{\text{нг}} \times p_1 + k_{\text{нг}}^2 \times p_2, \quad (7)$$

где p_0 – постоянные потери, не зависящие от нагрузки; p_1 – значение потерь, зависящих от первой степени $k_{\text{нг}}$ при номинальной нагрузке; p_2 – значение потерь, зависящих от квадрата $k_{\text{нг}}$, при номинальной нагрузке.

Подставим P_2 из (5) и p_{Σ} из (7) в формулу к. п. д.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + p_{\Sigma}}$$

Тогда

$$\eta = \frac{k_{\text{нг}} \times P_{2\text{н}}}{k_{\text{нг}} \times P_{2\text{н}} + p_0 + k_{\text{нг}} \times p_1 + k_{\text{нг}}^2 \times p_2} \quad (8)$$

Установим, при каком значении $k_{\text{нг}}$ к. п. д. достигает максимального значения, для чего определим производную $d\eta/dk_{\text{нг}}$ по формуле (8) и приравняем ее к нулю:

$$\frac{d\eta}{dk_{\text{нг}}} = \frac{(p_0 - k_{\text{нг}}^2 \times p_2) \times P_{2\text{н}}}{(k_{\text{нг}} \times P_{2\text{н}} + p_0 + k_{\text{нг}} \times p_1 + k_{\text{нг}}^2 \times p_2)^2} = 0$$

Это уравнение удовлетворяется, когда его знаменатель равен бесконечности, т. е. при $k_{\text{нг}} = \infty$. Этот случай не представляет интереса. Поэтому необходимо положить равным нулю числитель. При этом получим

$$p_0 = k_{\text{нг}}^2 \times p_2. \quad (9)$$

Таким образом, к. п. д. будет максимальным при такой нагрузке, при которой переменные потери $k_{\text{нг}}^2 \times p_2$, зависящие от квадрата нагрузки, становятся равными постоянным потерям p_0 .

Значение коэффициента нагрузки при максимуме к. п. д., согласно формуле (9),

$$k_{\text{нг}} = \sqrt{p_0/p_2} \quad (10)$$

Если машина проектируется для заданного значения $\eta_{\text{макс}}$, то, поскольку потери $k_{\text{нг}} \times p_1$ обычно относительно малы, можно считать, что

$$p_0 + p_2 \approx p_{\Sigma} = \text{const.}$$

Изменяя при этом соотношение потерь p_0 и p_2 , можно достичь максимального значения к. п. д. при различных нагрузках. Если машина работает большей частью при нагрузках, близких к номинальной, то выгодно, чтобы значение $k_{\text{нг}}$ [смотрите формулу (10)] было близко к единице. Если машина работает в основном при малых нагрузках, то выгодно, чтобы значение $k_{\text{нг}}$ было соответственно меньше.

Контрольные вопросы;

1. Как различаются подводимая и отдаваемая мощности электрической машины
2. Чем измеряется электрическая мощность, подводимая к двигателю, и электрическая мощность, отдаваемая в сеть генератором? измеряется непосредственно с помощью

Тема: Нагрев и охлаждение электрических машин

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Цель работы: изучить, нагрев электрических машин, причины его возникновения; влияния нагрева на режимы работы, мощность и долговечность электроприводов.

Программа работы

1. Изучить по литературе законы нагрева и охлаждения электрических машин и выяснить возможность использования им на практике [5, 1д].
2. Изучить способы измерения температуры отдельных частей электрических машин. Дать им сравнительную оценку.
3. Ознакомиться с лабораторной установкой, уяснить назначения приборов и оборудования и записать их паспортные данные в таблицу 1.
4. Опытным путем снять и построить кривые нагрева и охлаждения асинхронной машины и машины постоянного тока $T = f(t)$ (подобно рис. 2). Данные записать в таблицу 2.
5. Определить установившиеся значения превышения температуры асинхронной машины и машины постоянного тока.
6. Определить номинальную мощность электродвигателя по опытным данным.
7. Определить постоянную времени нагрева и охлаждения асинхронной машины и машины постоянного тока тремя различными способами и взять среднее значение. Данные записать в таблицу 3.
8. Пересчитать мощность асинхронной машины для работы ее в кратковременном режиме ($t_k = 15, 30, 45, 60, 90$ мин.) и повторно - кратковременном режиме ($PВ \% = 15, 25, 40, 60, 100$). Определить максимальную (критическую) мощность электродвигателя P_{max} построить графики $P = f(t_k)$;
 $P = f(PВ \%)$ с учетом P_{max} . Данные занести в таблицу 4.
9. Все необходимые расчеты должны быть представлены в отчете.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с лабораторной установкой (рисунок 1), состоящей из асинхронного двигателя М1 и генератора постоянного тока независимого возбуждения М2, служащего для создания нагрузки на валу двигателя М1. Величина нагрузки может регулироваться с помощью реостата R1, включенного в цепь якоря М2. Температура машины М1 измеряется с помощью термисторного моста в двух точках (обмотке и магнитопроводе статора). В схеме дистанционного термометра используются терморезисторы ММТ-1. В машине М2 методом сопротивления измеряется температура обмотки возбуждения. Превышение температуры медной обмотки возбуждения над температурой окружающей среды определяют по формуле:

$$\tau = \frac{R_t - R_0}{R_0} 235, \quad (1)$$

где R_t - сопротивление обмотки при $t^\circ\text{C}$, Ом; R_0 - сопротивление обмотки в холодном состоянии при температуре окружающей среды, Ом; $235 = 1/\alpha$, величина обратная температурному коэффициенту сопротивления меди $^\circ\text{C}$.

Поскольку изменения сопротивления при этом получается незначительным, необходимо очень тщательно производить измерения тока и напряжения на обмотке возбуждения.

2. Собрать схему (рисунок 1) и предъявить ее для проверки.
3. Включить тумблер SA1 питания термометра (ТТ) и измерить начальную температуру частей асинхронной машины (обмотки и статора). Нажать кнопку SB1 и измерить

начальный ток и напряжение в цепи возбуждения машины постоянного тока (при необходимости установить). Результаты занести в таблицу 2.

4. Установить реостат R1 в положение максимального сопротивления. Запустить машины M1 и M2 с помощью выключателя QF1. Включить выключатель QS1 и установить с помощью реостата R1 необходимый ток якоря (по указанию преподавателя), и через 5 минут записать показания в таблицу 2.

В дальнейшем показаниям приборов записывать так же через каждые 5 минут.

Продолжительность опыта 60 минут. По истечении указанного времени с момента включения, машины M1 и M2 от сети отключить выключателем QF1 и по показаниям термометра ТТ исследовать процесс охлаждения машины M1 и M2 в течении 30 минут , записывая показания приборов так же через 5 минут в таблицу 2.

Для снятия показания приборов PA2 и PU2 в процессе охлаждения машины M2 необходимо нажать кнопку SB1.

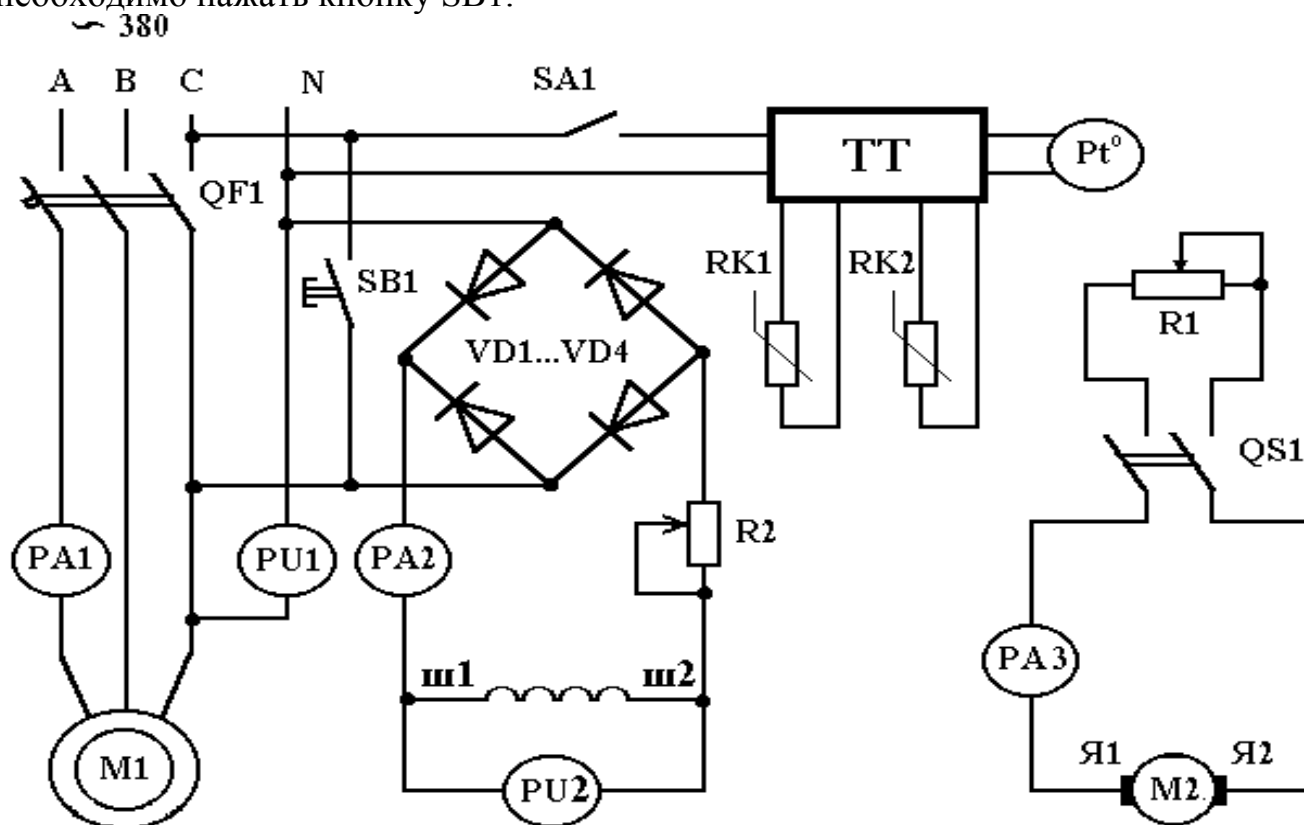


Рисунок 1 - Электрическая схема для проведения исследования электродвигателей на нагрев

ТТ — термисторы дистанционный термометр; RK1, RK2 — датчики температуры обмоток статора и магнитопровод статора машины M1.

Таблица 1 - Результаты измерений и расчетов

№	Наименование оборудования	Марка тип	Мощность	Ток	Напряжение	Сопротивление	Класс точности

Таблица 2 - Результаты измерений и расчетов

Вид опыта	№ п/п	Асинхронный двигатель		Машина постоянного тока	
		Опытные данные	Расчётные данные	Опытные данные	Расчётные данные

		t	τ		U	I	P	I _я	U _в	I _в	R _t	τ
			обмотки	магнито провода								
		мин	°С	°С	В	А	Вт	А	В	А	Ом	°С
Нагрев	1											
	2											
											
	12											
Охлаждение	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											

Таблица 3 - Результаты измерений и расчетов

Наименование		Асинхронный двигатель				Машина постоянного тока			
параметра		1. метод	2. метод	3. метод	сред. знач.	1. метод	2. метод	3. метод	сред. знач.
T _н	Обмотка								
мин	Статор								
T _{охл}	Обмотка								
мин	Статор								
τ _{уст}	Обмотка								
°С	Статор								

Таблица 4 – Результаты измерений и расчетов

№ п/п	Кратковременный режим			Повторно - кратковременный режим	
	тк	Рк	λт	ПВ %	Рп.к
	Мин	Вт		%	Вт

Обработка результатов опытов

Поскольку опыт проводят в течение небольшого промежутка времени, то получить установившуюся температуру двигателя не удастся, т.к. температура машины считается установившейся, если ее изменения в течение часа не превышает одного градуса при постоянной нагрузке. Но имея начальную часть кривой нагрева, можно графическим построением найти установившуюся температуру двигателя (рисунок 2). Для этого находят приращения превышения температуры $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$, $\Delta\tau_3$ и т.д. за равные промежутки времени Δt .

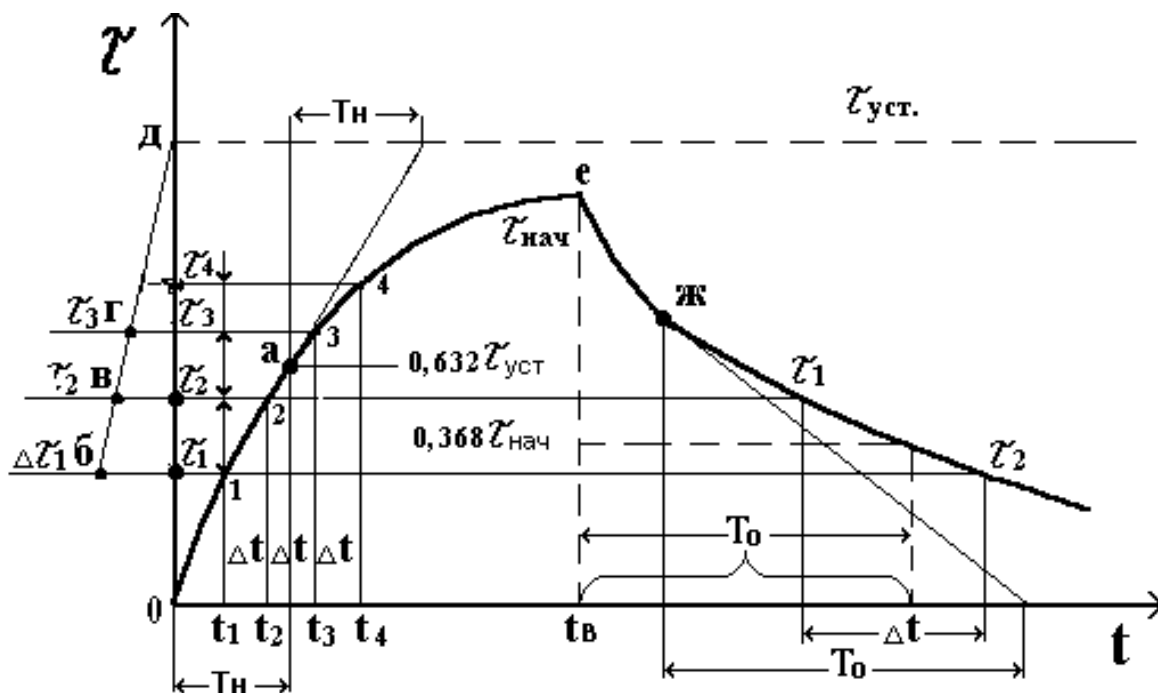


Рисунок 2 - Кривая нагрева электрических машин

Через точки кривой нагрева 1, 2, 3, 4, проводят горизонтальные линии и на них влево от оси ординат откладывают величины $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \Delta\tau_3$. Получают точки б, в, г, через которые проводят прямую до пересечения с осью t в точке д.

Отрезок - д в выбранном масштабе равен установившемуся превышению температуры $\tau_{уст}$. Горизонтальная прямая, проведенная через точку д, будет асимптотой для кривой нагрева.

Установившаяся температура может быть найдена также по известной формуле:

$$\tau_{уст} = \frac{\tau}{1 - e^{-\frac{t}{T_n}}}, \quad (2)$$

Постоянную времени нагрева T_n и охлаждения $T_{охл}$ можно определить тремя различными способами.

T_n - можно найти по кривой нагрева используя точку при $\tau = 0,632 \tau_{уст}$; отрезок времени t , заключается между началом кривой и этой точкой, равняется постоянной времени (1 метод).

Если найдена и проведена линия $\tau_{уст}$, то необходимо в любой точке кривой нагрева (лучше во второй половине кривой), например, в точке а, провести касательную к кривой и найти ее проекцию на линию $\tau_{уст}$. Эта проекция также покажет значения T_n (метод 2).

Если $\tau_{уст}$ не определена то можно найти постоянную времени нагрева методом трех точек по формуле (3 метод)

$$T_n = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_2}}, \quad (3)$$

где величины $\Delta t, \tau_1, \tau_2, \tau_3$ берут из графика. Для определения постоянной времени охлаждения T_o применяют также три метода, но по первому методу (рисунок 2) берут точку на кривой охлаждения равную $0,368 \tau_{нач}$ и отрезок времени,

заключенным между началом кривой охлаждения и этой точкой равняется постоянной времени охлаждения T_0 .

Второй метод (метод касательных) описан выше.

По третьему методу достаточно взять две точки на кривой охлаждения, чтобы найти T_0 по следующей формуле

$$T_0 = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_1}{\tau_2}} \quad (4)$$

В двигателях общего применения $T_{\text{охл.}} > T_n$ т.к. теплоотдача в неподвижной машине меньше, чем во вращающейся.

Если неизвестна номинальная мощность машины то, используя данные опыта нагрева, можно определить P_n по следующей формуле

$$P_n = P_{\text{дв}} \sqrt{\frac{\tau_{\text{max.п}}}{\tau_{\text{уст.п}}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{дв}}$ — мощность двигателя во время опыта;

$\tau_{\text{max.п}}$ — максимальное допустимое превышение температуры обмоток двигателя для данного класса изоляции

(для кл. А $105 - 40 = 65$); $\tau_{\text{уст.п}}$ — установившееся превышение температуры обмоток при проведении исследования

нагрева машины (определяется по опытным данным)

$$\tau_{\text{уст.п}} = \tau_{\text{уст.}} - \tau_{\text{окр. ср.}} \quad (6)$$

Номинальная мощность двигателя в кратковременном режиме определяется как:

$$P_k = P_n \cdot \sqrt{\lambda_T}, \quad (7)$$

где λ_T — коэффициент тепловой перегрузки, который определяется по формуле:

$$\lambda_T = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_k}{T_n}}}, \quad (8)$$

где t_k — время работы электродвигателя; T_n — постоянная времени нагрева.

Номинальная мощность двигателя в повторно - кратковременном режиме может быть найдена как:

$$P_{\text{п.к}} = \frac{P_n}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (9)$$

где P_n — номинальная мощность длительного режима;

ϵ — относительная продолжительность включения.

$$\epsilon = \frac{P_{\text{в}} \%}{100} \quad (10)$$

При расчетах P_k и $P_{\text{п.к}}$ следует учитывать, что механическая мощность асинхронной машины не может быть больше величины:

$$P_{\text{max}} = \mu_k P_n \frac{n_k}{n_0}, \quad (11)$$

где $\mu_k = M_{\max} / M_n$ — для короткозамкнутых двигателей общего пользования $\mu_k = 1,8 \dots 2,5$; n_k — критическая частота вращения ротора; n_n — номинальная частота вращения ротора.

$$n_k = n_0 (1 - S_k), \quad (12)$$

где S_k — критическое скольжение двигателя; n_0 — частота вращения магнитного поля статора.

Содержание отчета

1. Краткое описание работы.
2. Принципиальные схемы лабораторной установки.
3. Заполненный протокол измерений и расчетов.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные причины нагрева электрических двигателей.
2. Каким образом влияет класс изоляции на мощность электродвигателя.
3. Какое существует различие между установившейся температурой и допустимой? От каких факторов они зависят?
4. Дайте определение постоянной времени нагрева и расскажите о способах ее определения.
5. Как определяется установившееся температура графическим способом? От каких факторов она зависит?
6. Дайте определение длительному, кратковременному и повторно - кратковременному режимам работы.
7. Как влияет температура окружающей среды на допустимую мощность двигателя?
8. Что понимают под коэффициентом тепловой перегрузки и от каких факторов он зависит?
9. Как рассчитать номинальную мощность, которую может развить электродвигатель?
10. Как пересчитать мощность электродвигателя для температуры окружающей среды, отличающейся от стандартной?
11. Как пересчитать мощность электродвигателя для работы его в кратковременном и повторно - кратковременном режиме?
12. Как определить максимальную мощность, которую может развить электродвигатель?
13. Напишите уравнение теплового баланса для электродвигателя, объясните его физический смысл.
14. Расскажите о преимуществах и недостатках различных способов измерения температуры электродвигателя.
15. Объясните причину разницы величин постоянных времени нагрева обмотки якоря и обмотки возбуждения.

Раздел: Основы теории электрических аппаратов

Тема: Нагрев и охлаждение при продолжительном, кратковременном и повторно кратковременных режимах.

Лабораторная работа. Исследование нагрева и охлаждения трансформаторов

Цель работы: исследовать основные закономерности нагрева и охлаждения трансформаторов в различных режимах их работы

Общие теоретические сведения

При работе трансформаторов имеют место потери мощности в стали магнитопровод, в обмотках, а также в кожухе и металлических частях конструкции. Эти потери вызывают нагрев, причём, чем больше величина нагрузки, тем больше потери и интенсивнее идёт нагрев. Тепловые процессы инерционны, поэтому температура нагрева зависит не только от величины потерь, но и от времени, причём она не должна превышать предельно допустимых значений, определяемых в первую очередь классом нагрева стойкости изоляции.

Для однородного объекта нагрева при неизменных потерях можно записать следующее аналитическое выражение для превышения температуры нагрева над температурой окружающей среды:

$$\tau_i = \tau_{нач.i} + (\tau_{уст.i} - \tau_{нач.i}) \left(1 - e^{-t_i/T_n} \right), \quad (1)$$

где $\tau_{нач.i}$ - превышение температуры нагрева над температурой окружающей среды в начале рассматриваемого интервала времени t_i ; $\tau_{уст.i} = \frac{\Delta P_i}{A}$ - установившееся значение превышения температуры для потерь ΔP_i ; $T_n = C/A$ - постоянная времени нагрева.

Теплоёмкость C и теплоотдача A для конкретного трансформатора при неизменных условиях охлаждения являются постоянными величинами, поэтому установившееся превышение температуры зависит от величины потерь и, соответственно, от нагрузки, а постоянная времени нагрева от нагрузки не зависит. Физически постоянная T_n представляет собой время, за которое трансформатор нагрелся бы до установившегося значения превышения температуры, если бы не было отдачи тепла в окружающую среду. Если начальное значение превышения температуры на рассматриваемом интервале превышает установившееся при данных потерях: $\tau_{нач.i} > \tau_{уст.i}$ происходит охлаждение.

При отключении трансформатора потери и установившееся значение превышения температуры становятся равными нулю: $\Delta P = 0$; $\tau_{уст.} = 0$, и уравнение (1) преобразуется к следующему виду:

$$\tau_i = \tau_{нач.i} e^{-t_i/T_{охл.}}. \quad (2)$$

Постоянные времени нагрева и охлаждения равны между собой, если условия охлаждения неизменны, и различны, если они изменяются, например, – вследствие отключения вентиляции.

Методы определения постоянной времени нагрева

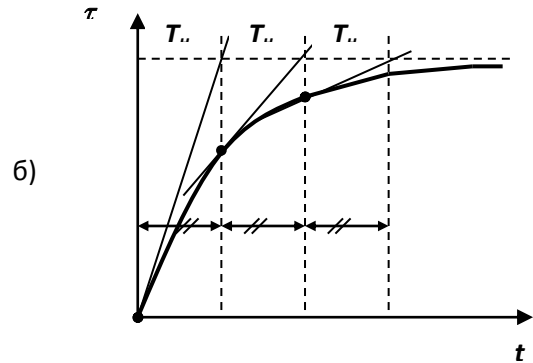
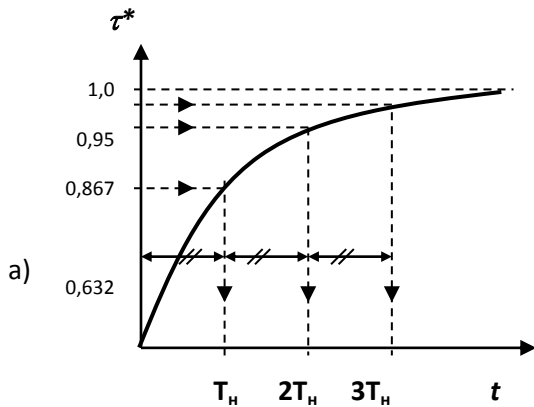
1. Подставляя в уравнение (1) значения времени: $t = T_n$; $t = 2T_n$; $t = 3T_n$, нетрудно убедиться в том, что множитель $\left(1 - e^{-t/T_n} \right)$ принимает соответственно следующие значения: **0,632**; **0,867**; **0,95**. Таким образом, если известны установившееся и начальное значение превышения температуры, можно определить и постоянную времени нагрева (рис. 1-а).

1. Для определения постоянной времени нагрева по методу касательных необходимо иметь кривую нагрева, к которой в нескольких точках проводятся касательные. Отрезок асимптоты, отсекаемый самой касательной и перпендикуляром,

восстановленным из точки касания, даёт постоянную времени нагрева. Для повышения точности необходимо провести несколько касательных (рис. 1-б).

3. По методу трёх точек (рис. 1-в) используется формула:

$$T_n = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_2}} \quad (3)$$



**Продолжительный
нагрузкой** (рис. 2-а)
неизменностью потерь и
превышение температуры
установившегося
номинальной нагрузке

допустимому для данного класса изоляции превышению температуры. Если мощность в процессе проведения опыта отличается от номинальной, последнюю можно определить по формуле:

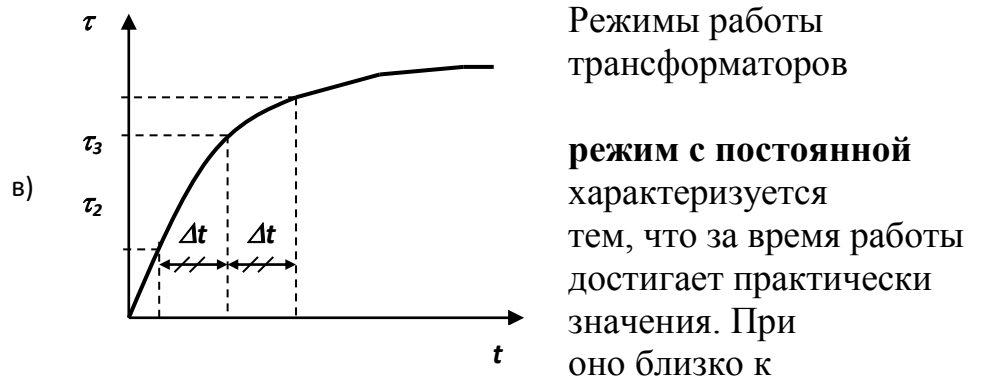
$$P_{ном} = P_{\Delta t} \sqrt{\frac{\tau_{доп}}{\tau_{уст.\Delta t}}} \quad (4)$$

где $P_{\Delta t}$, $\tau_{уст.\Delta t}$ - параметры, полученные при проведении опыта.

Длительный режим работы с постоянной нагрузкой часто имеет место в трансформаторах блоков питания.

Кратковременный режим (рис. 2-б) имеет место в том случае, если за рабочий период превышение температуры не успевает достигнуть установившегося значения, а за время паузы происходит охлаждение практически до температуры окружающей среды. В кратковременном режиме нагрузка может быть увеличена по сравнению с номинальной. Коэффициент перегрузки по мощности равен:

$$\delta_K = \frac{\tau_{уст.К}}{\tau_{доп}} = \frac{P_K}{P_{ном}} = \frac{1}{1 - e^{-t_K/T_n}} > 1 \quad (5)$$



Режимы работы
трансформаторов

режим с постоянной
характеризуется
тем, что за время работы
достигает практически
значения. При
оно близко к

Если известен коэффициент перегрузки по мощности и T_n , можно найти допустимое время кратковременной работы:

$$t_k = T_n \ln \frac{\delta_k}{\delta_k - 1}. \quad (6)$$

Поскольку потери мощности в кратковременном режиме пропорциональны в основном квадрату тока, кратковременно допустимый ток можно найти по формуле:

$$I_k = I_{ном} \sqrt{\delta_k} \quad (7)$$

Повторно-кратковременный режим (рис. 2-в) характеризуется чередованием рабочих периодов и пауз, причём превышение температуры не успевает достигнуть установившихся значений ни в рабочий период, ни в период охлаждения. После нескольких начальных циклов наступает квазиустановившийся режим, когда в конце каждого рабочего периода и в конце каждого периода охлаждения температуры получаются практически одинаковыми. Важная характеристика повторно-кратковременного режима – относительная продолжительность включения, равная:

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_u}. \quad (8)$$

Коэффициент допустимой перегрузки по мощности и допустимый ток повторно-кратковременного режима равны:

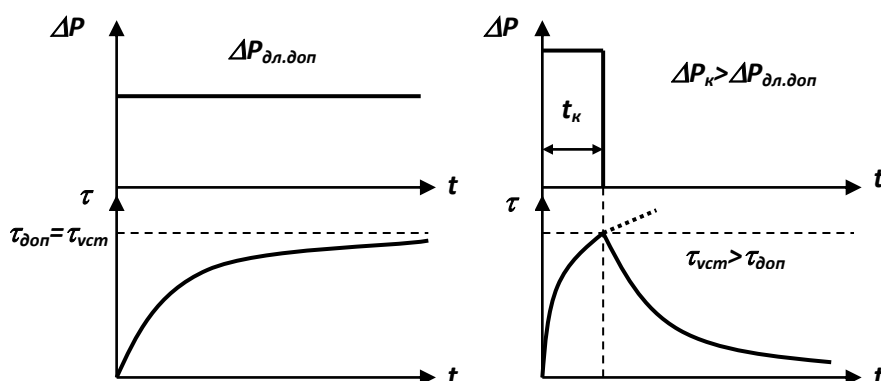
$$\delta_{ПК} = \frac{\tau_{уст.ПК}}{\tau_{доп.}} = \frac{P_{ПК}}{P_{ном}} = \frac{1 - e^{-\frac{(t_p+t_u)}{T_n}}}{1 - e^{-\frac{t_p}{T_n}}} \approx \frac{1}{\varepsilon} > 1; \quad (9)$$

$$I_{ПК} = I_{ном} / \sqrt{\delta} \approx I_{ном} / \sqrt{\varepsilon}. \quad (10)$$

В кратковременном и повторно-кратковременном режимах работают сварочные трансформаторы.

Длительный режим с переменной нагрузкой (рис. 2-г) наиболее характерен для силовых трансформаторов. Эквивалентный ток в этом случае рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{экв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_{1p} + I_2^2 t_{2p} + I_3^2 t_{3p} + \dots}{\sum t_i}} \leq I_{ном} \quad (11)$$



2. Порядок выполнения работы

2.1. Изобразить самостоятельно принципиальную схему трансформатора с активной нагрузкой, в которой предусмотреть приборы для измерения напряжения, тока и активной мощности. Записать температуру окружающей среды и допустимую температуру нагрева изоляции. Подготовить таблицу для записи показаний приборов по форме:

U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	P_2	$t_{тр}^o - t_{о.с.}^o$	$t_{мин}$

2.2. Включить схему и установить нагрузку по указанию преподавателя. Через определённый промежуток времени записывать значения температуры, поддерживая ток нагрузки неизменным. Опыт проводить до тех пор, пока температура практически не установится, после чего выключить установку и снять кривую охлаждения.

2.3. Построить зависимости $\tau = f(t)$ при нагреве и охлаждении. Определить по ним различными методами постоянные времени нагрева и охлаждения. Определить по формуле (4) номинальную мощность.

2.4. Получив у преподавателя исходные данные, выполнить расчёт характеристик при работе трансформатора в кратковременном, повторно-кратковременном или длительном режиме работы с переменной нагрузкой. Сделать вывод о её возможности (невозможности).

2.5. Оформить отчёт, в котором должны быть представлены: схема установки; результаты измерений в табличной и графической формах; графические построения и аналитические расчёты; общие выводы.

Контрольные вопросы

1. Анализ уравнений нагрева и охлаждения трансформаторов
2. Методы определения постоянных времени нагрева и охлаждения
3. Классификация режимов работы трансформаторов
4. Определение основных показателей в различных режимах работы

Тема: Термическая стойкость аппарата. Измерение температуры нагрева.

Цель работы: изучить, нагрев электрических аппаратов, причины его возникновения; влияния нагрева на режимы работы.

Ход работы. Изучить теоретический материал составить опорный конспект ответить на контрольные вопросы.

Теория

Электрический ток в цепи нагревает проводники и контактные части. Количество теплоты, выделяющееся за 1с в контактном соединении, пропорционально $I^2 R_K$, где R_K — переходное сопротивление контакта, т. е. сопротивление в месте перехода тока с одной контактной поверхности на другую. Величина R_K зависит от силы нажатия контактов, материала, обработки контактных поверхностей.

Измерение температуры нагрева контакта выполняют переносным электротермометром или при помощи термосвеч, которые позволяют лишь ориентировочно определить степень нагрева. Переносной электротермометр, предназначенный для измерений на токоведущих частях напряжением до 10 кВ, представляет собой компактный неравновесный мост, в одно из плеч которого включен медный термометр сопротивления, а в диагональ — микроамперметр.

Для питания моста применяют сухую батарейку. Прибор крепят на изолирующей штанге. При измерении его прижимают к контакту и через 20...30 с измеренное значение температуры контакта считывают со шкалы прибора. Перед использованием электротермометром стрелку прибора устанавливают в нулевое положение при помощи корректора. Погрешность электротермометра составляет $\pm 2,5\%$.

Степень нагрева контактов определяют при помощи термосвеч. Эксплуатационный комплект состоит из пяти свечей с температурами плавления 50, 80, 100, 130 и 180 °С.

Свечой, закрепленной специальным держателем на изоляционной штанге, касаются отдельных частей контакта. При температуре нагрева обследуемой части, близкой к температуре плавления материала свечи, конец ее плавится.

Первой применяют свечу с наиболее низкой температурой плавления. Если она плавится, то применяют другие свечи в порядке возрастания их температур плавления. Нагрев контактных соединений контролируют в ходе осмотров при помощи термопленочных указателей многократного действия в закрытых РУ и термоуказателей однократного действия с легкоплавким припоем — на открытых РУ.

Термопленочные указатели в виде узких полосок наклеивают на металлические части, образующие контактное соединение. В интервале температур 70... 100 °С термопленка изменяет свой цвет с красного на черный. При охлаждении контакта черный цвет переходит в красный. Если контакт нагревается до температуры более 120 °С и она будет удерживаться на этом уровне в течение 1... 2 ч, термопленка приобретет грязновато-желтую окраску и после охлаждения контакта уже не восстановит своего первоначального красного цвета. По состоянию термопленки судят о нагреве контактов.

В местах, недоступных для контроля нагрева контактов при помощи термопленок (например, в открытых РУ), применяют указатели нагрева с легкоплавким припоем. Два конца медной проволоки спаивают припоем с различным содержанием олова, свинца и висмута.

Температура плавления таких припоев может составлять от 95 до 160 °С.

Один конец спаянной проволоки закрепляют непосредственно на контактном зажиме, а другой, загнутый в колечко, служит указателем. При нагреве контакта (а вместе с ним и указателя) до температуры, превышающей температуру плавления припоя, указатель отпадает, что свидетельствует о недопустимом нагреве контакта.

Для определения нагрева контактов также используют тепловизоры и инфракрасные радиометры. Радиометр — это прибор, фиксирующий тепловое излучение на чувствительный элемент, передающий соответствующий выходной сигнал на стрелочный индикатор. Радиометр типа ИК-10Р способен регистрировать температуру в диапазоне 35...200°С. Наводка объектива радиометра на исследуемое контактное

соединение производится через оптический окуляр. При измерении прибор устанавливается на расстоянии 2...20 м от токопроводящей части.

Таблица 3.5

Номинальные допустимые значения температуры отдельных электроустановок

Наименование	Температура, °С	
	номинальная	допустимая
Разъединители	70	105
Токопровод	90	140
Кабельные наконечники	75	110
Вводы силовых трансформаторов	100	160

Опыт эксплуатации радиометров показал, что с их помощью выявляют неисправные контактные соединения разъединителей, токопроводов, наконечников кабелей, выводов силовых трансформаторов и другого оборудования (табл. 3.5).

В энергосистемах применяют тепловизоры отечественного производства типов ИФ, ТВ-03, «Рубин», С-9, «Интеко» и др.

Контрольные вопросы

1. Анализ уравнений нагрева и охлаждения аппаратов
2. Методы определения постоянных времени нагрева и охлаждения
3. Классификация режимов работы аппаратов
4. Определение основных показателей в различных режимах работы

Тема: Классификация электромагнитных механизмов. Определение энергии индуктивности магнитного поля.

Тема: Изучение работы и конструкции магнитного пускателя.

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические параметры магнитного пускателя.

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия, основные технические характеристики магнитного пускателя;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры магнитного пускателя.

Теоретическое обоснование

Магнитные пускатели предназначены для пуска, остановки, реверсирования и тепловой защиты главным образом асинхронных двигателей. Наибольшее применение находят магнитные пускатели с контактными системами и электромагнитным приводом типов ПМЕ, ПМА, ПА (ПАЕ). Пускатели выполняются открытого, защищенного, пылебрызгонепроницаемого исполнения, реверсивные и нереверсивные, с тепловой защитой и без нее.

Пускатели серии ПМА предназначены для управления асинхронными двигателями в диапазоне мощностей от 1,1 до 75 кВт на напряжение 380-660 В. Пускатели серии ПМЕ,

ПАЕ обладают коммутационной способностью до $2 \cdot 10^6$ и частотой включений в час до 1200. Выбор контакторов и пускателей осуществляется по номинальному напряжению сети, номинальному напряжению питания катушек контакторов и пускателей, по номинальному коммутируемому току электроприемника.

Магнитные пускатели устроены и действуют в основном так же, как и контакторы, но они более компактны и меньше по габаритам. Промышленностью выпускаются магнитные пускатели с электротепловыми реле или без них.

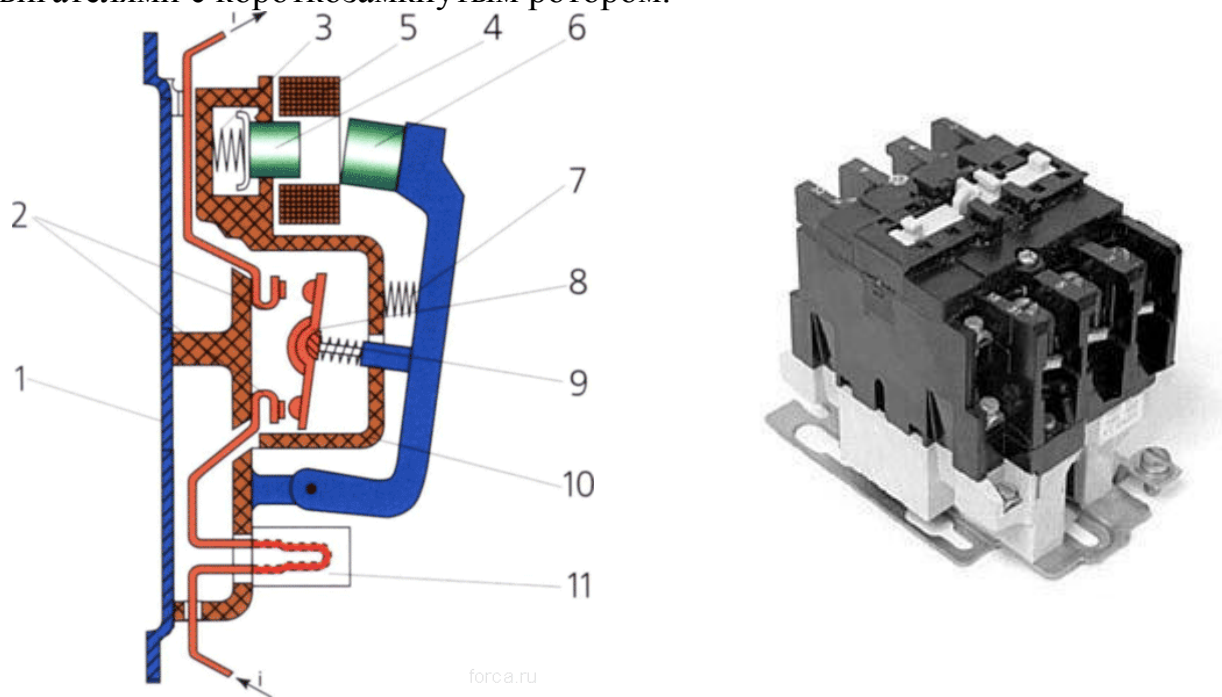
Магнитные пускатели, позволяющие включать двигатель лишь в одном направлении вращения, называют *нереверсивными*.

Магнитные пускатели, с помощью которых можно изменять направление вращения электродвигателя, называют *реверсивными* (они состоят из двух *нереверсивных* пускателей, объединенных конструктивно).

Для включения *нереверсивных* магнитных пускателей применяют *кнопочный нажимной выключатель* с одним замыкающим («пуск») и одним размыкающим («стоп») контактами, а для включения *реверсивных* магнитных пускателей применяется аналогичный выключатель, но с тремя кнопками: «вперед», «назад», «стоп».

Промышленность выпускает магнитные пускатели серий ПА, ПАЕ и ПМЕ. В электроустановках эксплуатируются и магнитные пускатели других серий, выпускавшиеся ранее.

Пускатели серий ПА и ПАЕ используют преимущественно для управления электродвигателями, установленными на металлообрабатывающих и других станках. Пускатели серии ПМЕ применяют для управления асинхронными трехфазными двигателями с короткозамкнутым ротором.



1 - основание; 2 - неподвижные контакты; 3 - пружина; 4 - магнитный сердечник; 5 - катушка; 6 - якорь; 7 - возвратная пружина; 8 - контактный мостик; 9 - пружина; 10 - дугогасительная камера; 11 - нагревательный элемент

Рисунок 13.1 – Общий вид магнитного пускателя

В промышленности применяются магнитные пускатели серий ПМЕ и ПМЛ с прямоходовыми контакторами и серии ПАЕ с подвижной системой поворотного типа.

Тип пускателя обозначают сочетанием букв и цифр. Буквы указывают на серию, а цифры - на величину (габаритные размеры), особенности исполнения, наличие или отсутствие электротеплового реле и на возможность реверсирования:

первая цифра, стоящая после букв, указывает на величину пускателя (чем она больше, тем больше габаритные размеры пускателя); магнитные пускатели серии ПМЕ имеют величину 0, 1 или 2, а серии ПА - от третьей по шестую;

вторая цифра показывает открытое исполнение (1) или защищенное. (2);

по третьей цифре можно одновременно определить, является ли пускатель нереверсивным (1 или 2) или реверсивным (3 или 4) и имеет ли он электротепловое реле (2 или 4) или нет (1 или 3).

Рассмотрим примеры: ПА-314 - магнитный пускатель третьей величины, открытого исполнения, реверсивный, с электротепловым реле; ПА-621 - магнитный пускатель шестой величины, защищенного исполнения, нереверсивный, без электротеплового реле.

Выбирать магнитный пускатель необходимо по следующим данным: номинальная сила тока, номинальное напряжение и условия эксплуатации - требуется или не требуется защищенное исполнение, есть ли необходимость в реверсировании и наличии электротеплового реле.

Ход работы

Оборудование: магнитный пускатель, отвертки.

- 1) Внимательно осмотрите магнитный пускатель.
- 2) Определите тип магнитного пускателя, запишите его технические данные.
- 3) Снимите крышку магнитного пускателя, рассмотрите устройство его основных частей.
- 4) Опишите назначение и устройство магнитного пускателя.
- 5) Ответьте на контрольные вопросы.

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Технические данные магнитного пускателя.
- 3) Назначение и устройство магнитного пускателя.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.
- 5)

Контрольные вопросы

- 1) Что называют магнитным пускателем?
- 2) Назначение короткозамкнутых витков на сердечнике магнитного пускателя.
- 3) Как маркируются магнитные пускатели?
- 4) Расшифруйте марку магнитных пускателей ПМЕ-211, ПАЕ-613.
- 5) В чем разница между магнитным пускателем и контактором?

Тема: Вычисление сил моментов электромагнита. Особенности электромагнитов переменного тока. Дребезг якоря и способы его устранения.

Лабораторная работа изучение сил моментов электромагнита различных типов автоматических выключателей.

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические характеристики автоматических выключателей.

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия, основные технические характеристики автоматических выключателей;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры автоматов;

Теоретическое обоснование

Автоматический выключатель (автомат) предназначен для автоматического размыкания электрической цепи при перегрузках, коротких замыканиях и понижениях напряжения, а также для редких отключений и включений. Автоматы выпускаются в одно-, двух- и трехполюсном исполнении для цепей постоянного и переменного токов. Управление ими может быть ручное (местное или дистанционное).

Автоматы характеризуются следующими показателями:

- 1) номинальным напряжением $U_{ном}$ - максимальным напряжением постоянного или переменного тока, предназначенным для нормальной работы автомата;
- 2) номинальным током автомата $I_{н.а}$ - максимальным длительным током главных контактов автомата;
- 3) током срабатывания автомата $I_{ср.а}$ - наименьшим током, при котором автомат разрывает электрическую цепь;
- 4) предельным током отключения $I_{пр.а}$ - наибольшим током, который может быть отключен автоматом;
- 5) номинальным током расцепителя $I_{н.р}$ - максимальным длительным током, при котором расцепитель не срабатывает;
- 6) током уставки расцепителя I_v - наименьшим током срабатывания расцепителя, на который он настраивается;
- 7) уставкой тока мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя, называемой отсечкой.

Главной частью автоматических выключателей служит реле, поэтому и принцип работы их тот же, что и реле.

Реле с относящимися к нему механизмами отключения называют расцепителем. Автоматические выключатели бывают с электромагнитными, электротепловыми и комбинированными расцепителями.

Устройство и схема действия автоматического выключателя АП-50 показаны на рисунке 16.1, автоматического выключателя серии АЗ700 на рисунке 16.2.

Конструкция выключателя АП 50

Выключатель смонтирован в корпусе из ударо- и дугостойкой пластмассы, допускающей возможность работы в условиях умеренного, холодного и тропического климата. Корпус состоит из основания 1 и крышки 2.

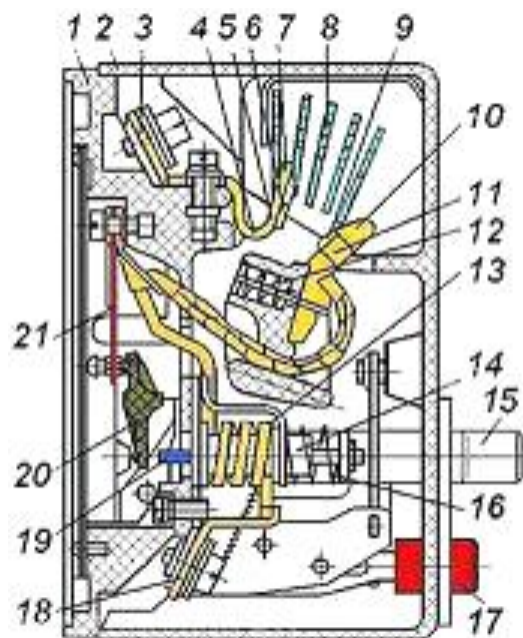


Рисунок 16.1 - Автоматический выключатель АП 50

Внешние цепи подключаются к зажимам 3 и 18. Управление выключателем производится двумя кнопками – включения (светлого цвета) 15 и отключения (красного цвета) 17. Внутри корпуса располагается контактная система, состоящая из подвижного 11 и неподвижного 5 контактов с контактными накладками 6 и 9. Контактное нажатие создает пружина 12.

Контактные накладки изготовлены из специально подобранной серебросодержащей металлокерамической композиции, которая обеспечивает высокую дугостойкость и износостойкость контактов.

Исключение возможности механического удержания контактов в замкнутом состоянии при возникновении аварийного режима обеспечивает механизм свободного расцепления, состоящий из системы «ломающихся» рычагов и пружин.

На короткие замыкания реагирует электромагнитный расцепитель, состоящий из обмотки 13 и якоря 14, на котором закреплен шток 19. При аварийных токах, превосходящих ток уставки, электромагнитная сила, втягивающая якорь в отверстие обмотки, становится больше усилия сжатия пружины 16, якорь втягивается в отверстие обмотки и шток, воздействуя на рейку 20 механизма свободного расцепления, проворачивает ее, в результате чего выключатель срабатывает, вызывая размыкание главных и свободных контактов выключателя.

Благодаря электродинамической петле 4, опорные точки дуги, возникающей между контактами, быстро перемещаются по дугогасительным рогам 7 и 10, в результате дуга, попадая в камеру, состоящую из ряда стальных пластин 8, гаснет.

Защиту от токов перегрузки обеспечивает биметаллический расцепитель 21, с регулятором, рычаг которого установлен на механизме выключателя. Регулятор позволяет уменьшать уставку во всех полюсах до 70% от ее номинального значения.

Устройство автоматического выключателя серии АЗ700

Автоматический выключатель серии АЗ700 состоит из контактной системы, дугогасительного устройства и механизма управления, смонтированных на общем пластмассовом основании, закрытом крышкой 1.

Подвижные контакты укреплены на контактных рычагах 13. Неподвижные контакты 15 припаяны к медным, шинам, уложенным на дно основания, и снабжены зажимами для присоединения к ним шин распределительного устройства или проводов питающей сети.

Для предохранения от разрушающего воздействия дуги на рабочих поверхностях контактов имеются напайки из металлокерамики. Подвижный и неподвижный контакты каждого полюса автомата разделены пластмассовыми перегородками и заключены в съемные дугогасительные камеры 8. Каждая камера состоит из нескольких стальных пластин, закрепленных на фибровом каркасе 2 так, что между ними образуются узкие, расходящиеся кверху щели. При отключении автомата образовавшаяся на его контактах дуга благодаря магнитному полю, создаваемому токами дуги, втягивается в пространства между пластинами, образуя деионную решетку дугогасительного устройства, дробится на ряд мелких дуг и, интенсивно охлаждаясь о поверхность пластин, быстро гасится. Автомат имеет рукоятку ручного управления 5.

Держатели подвижных контактов соединены с общим стальным изолированным валиком, а через пружинный механизм при помощи системы рычагов - с рукояткой 5. Механизм управления автомата обеспечивает замыкание и размыкание контактов с постоянной скоростью, не зависящей от скорости движения рукоятки, а также необходимое нажатие в контактах и автоматическое отключение при перегрузках и коротких замыканиях.

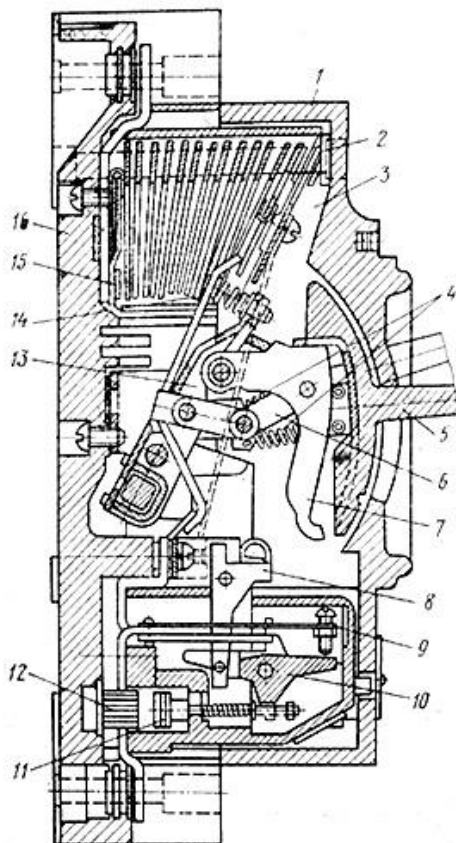
По видам защиты автоматы этой серии разделяют на следующие: с электромагнитными расцепителями, обеспечивающими защиту от коротких замыканий; с тепловыми расцепителями, обеспечивающими защиту от перегрузок; с комбинированными расцепителями (электромагнитным и тепловым); с расцепителями минимального напряжения, осуществляющими нулевую защиту.

Расцепители токовой защиты могут быть выполнены для токоограничивающих выключателей на полупроводниковых, биметаллических и электромагнитных элементах; для селективных выключателей - на полупроводниковых элементах. Кроме того, выключатель может иметь расцепитель минимального напряжения и независимый отключающий расцепитель для дистанционного отключения выключателя.

Электромагнитные расцепители срабатывают мгновенно, а тепловые - с выдержкой времени, зависящей от значения протекающего тока нагрузки.

По положению рукоятки управления определяют, включен или выключен автомат. Если рукоятка находится в верхнем положении, автомат включен, если в среднем (промежуточном) и нижнем - отключен.

Среднее положение рукоятка занимает в том случае, если отключение произошло автоматически. Для восстановления включенного положения аппарата после автоматического отключения необходимо рукоятку опустить в нижнее положение («отключено»), ввести в зацепление рычаги механизма, а затем поднять рукоятку до крайнего верхнего положения.



1 - крышка, 2 - каркас деионной решетки, 3 - дугогасительная камера с деионной решеткой, 4 - перекидные пружины, 5 - рукоятка включения, 6 - ломающиеся рычаги, 7 - рычаг, 8 - собачка расцепителя, 9 - термобиметаллический элемент, 10 - рейка, 11 - якорь электромагнита, 12 - сердечник электромагнита, 13 - контактный рычаг, 14 - подвижный контакт, 15 - неподвижный контакт, 16 - основание.

Рисунок 16.2 - Автомат АЗ700

Автоматические выключатели серии АВМ выпускают двух- и трехполюсными в открытом исполнении и рассчитаны на установки в помещениях с нормальной средой. Изготавливают выключатели не выдвижные - с передним присоединением шин и выдвижные - с втычными контактами, расположенными с обратной стороны панели автомата.

Выключатели АВМ выпускают с регулируемыми электромагнитными расцепителями максимального тока:

- типа 1 - мгновенного действия; отключает выключатель без выдержки времени;
- типа 2 - с часовыми механизмами; с обратно зависимой от тока выдержкой времени при перегрузках и с мгновенным отключением при коротком замыкании;
- типа 3 - с часовыми механизмами и с механическим замедлителем расцепления; отключает выключатель при перегрузках с обратно зависимой, а при коротком замыкании с независимой от величины тока выдержкой времени.

Автоматические выключатели включают вручную или электродвигательным приводом. Буквенные обозначения типов АВМ: Н - неселективный, т.е. с расцепителем типа 2; С - селективный, т. е. с разделителем типа 3; ТС - тропического сухого климата. Цифровые

обозначения: 4 - на номинальный ток до 400 А; 10 - до 1000 А; 15 - до 1500 А; 20 - до 2000 А.

Автоматические выключатели серии АВМ применяют на стороне низшего напряжения трансформаторов; на трансформаторных подстанциях, где предусматривается автоматическое включение резерва; на шинопроводах и отходящих от щита линиях, а также в цепях генераторов постоянного тока, работающих параллельно с аккумуляторными батареями.

Автоматические выключатели АЕ-2000. Назначение и область применения таких выключателей, а также характеристики расцепителем те же, что и для выключателей серии А-3700 на токи до 100 А. Их выпускают в одно-, двух- и трехполюсном исполнении с комбинированными и электромагнитными расцепителями следующих типов: АЕ-2010 - номинальный ток комбинированно расцепителя 0,6 - 10 А, динамическая устойчивость до 5 кА, такая же, как и для АЕ-2030; А Е-2030 - номинальный ток комбинированного расцепителя 10... 25 А; АЕ-2040 номинальный ток комбинированного расцепителя 10...63 А; динамическая устойчивость 3 кА; АЕ-2050 - поминальный ток комбинированного расцепителя 16 - 100 А, динамическая устойчивость 20 кА.

Верхний предел тока расцепителя комбинированного выключателя соответствует номинальному току этого выключателя.

Автоматические выключатели АЕ-1000. Это однополюсные выключатели, предназначены для защиты осветительных сетей жилых, административных и производственных зданий. Они выпускаются с тепловыми расцепителями на номинальные токи 6; 10; 16; 20; 25 А и электромагнитными расцепителями с отключением без выдержки времени при токах более $18I_{ном}$, а также с комбинированными расцепителями (тепловой и электромагнитный расцепитель).

Из рассмотрения основных типов автоматических выключателей следует, что защита перегрузки обеспечивается:

- 1) тепловыми расцепителями, действующими с выдержкой времени, обратно зависимой от величины тока перегрузки;
- 2) расцепителями с часовым механизмом (с обратно зависимой от тока характеристикой);
- 3) электромагнитными расцепителями с выдержкой времени, достаточной для снижения пускового тока электродвигателя до нормального;
- 4) тепловыми реле с нагревательными элементами магнитных пускателей.

Ход работы

Оборудование: Автоматический выключатель, набор инструментов для электромонтажных работ.

- 1) Определите тип автомата и запишите его технические данные.
- 2) Снимите крышку автомата и рассмотрите устройство его основных частей.
- 3) Опишите назначение и устройство автоматического выключателя.
- 4) Ответьте на контрольные вопросы.

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Технические данные автоматического выключателя.
- 3) Назначение и устройство автоматического выключателя.

4) Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1) Назначение автоматического выключателя.
- 2) Перечислите основные характеристики автоматов.
- 3) Перечислите знакомые вам марки автоматов.
- 4) Где применяются автоматы марки АЕ-1000?
- 5) Чем обеспечивается защита перегрузки электрических сетей?

Тема: Статистические и динамические тяговые характеристики электромагнитов. Замедление и ускорение действия электромагнита.

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические характеристики электромагнита.

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия, основные технические характеристики электромагнита;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры электромагнита;

Теоретическое обоснование

Основные характеристики электромагнитов

Наиболее общими являются динамические характеристики, которые учитывают изменения н. с. электромагнита в процессе его срабатывания за счет действия ЭДС самоиндукции и движения, а также учитывают трение, демпфирование и инерцию подвижных частей.

Для некоторых типов электромагнитов (быстродействующие электромагниты, электромагнитные вибраторы и т. п.) знание динамических характеристик является обязательным, так как только они характеризуют рабочий процесс таких электромагнитов. Однако получение динамических характеристик сопряжено с большой вычислительной работой. Поэтому во многих случаях, особенно когда не требуется точного определения времени движения, ограничиваются рассмотрением статических характеристик.



Статические характеристики получаются, если не учитывать влияния на электрическую цепь противо-ЭДС, возникающей в процессе движения якоря электромагнита, т. е. считать, что ток в обмотке электромагнита неизменен и равен, например току срабатывания. Важнейшими характеристиками электромагнита с точки зрения его предварительной оценки являются следующие:



2. Характеристика противодействующих усилий (нагрузка) электромагнита. Она представляет собой зависимость противодействующих сил (в общем случае приведенных к точке приложения электромагнитной силы) от рабочего зазора δ (рис. 1): $F_{\text{п}} = f(\delta)$ Сопоставление противодействующей и тяговой характеристик дает возможность сделать заключение (предварительное, без учета динамики) о работоспособности электромагнита.

Для того чтобы электромагнит нормально сработал, необходимо, чтобы тяговая характеристика во всем диапазоне изменений хода якоря проходила выше противодействующей, а для четкого отпускания, наоборот, тяговая характеристика должна проходить ниже противодействующей (рис. 2).

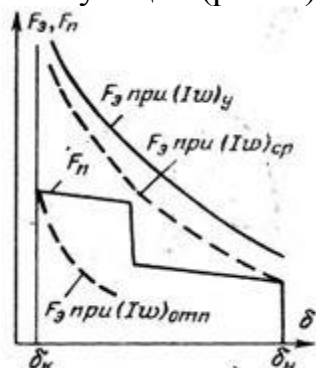


Рис. 2. К согласованию характеристик действующих и противодействующих сил

3. Нагрузочная характеристика электромагнита. Эта характеристика связывает значение электромагнитной силы и величину напряжения, подведенного к обмотке, или тока в ней при фиксированном положении якоря:

$$F_3 = f(u) \text{ и } F_3 = f(i) \text{ при } \delta = \text{const}$$

4. Условная полезная работа электромагнита. Она определяется как произведение электромагнитной силы, соответствующей начальному рабочему зазору, на величину хода якоря:

$$W_{пу} = F_n (\delta_n - \delta_k) \text{ при } I = \text{const.}$$

Значение условной полезной работы для данного электромагнита является функцией начального положения якоря и величины тока в обмотке электромагнита. На рис. 3 приведены статическая тяговая характеристика $F_3 = f(\delta)$ и кривая $W_{пу} = F_n(\delta)$ электромагнита. Заштрихованная площадь пропорциональна $W_{пу}$ при данном значении δ_n .

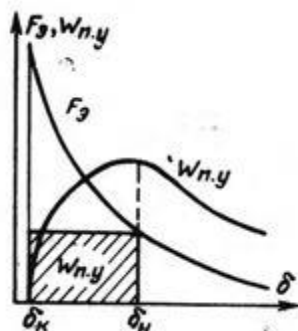


Рис. 3. Условная полезная работа электромагнита.

5. Механическая эффективность электромагнита — относительная величина условной полезной работы $W_{пу}$ по сравнению с максимально возможной (соответствующей наибольшей заштрихованной площади) $W_{п.у м}$:

$$\eta_{мех} = W_{пу} / W_{п.у м}$$

При расчете электромагнита желательно так выбирать его начальный зазор, чтобы электромагнит отдавал максимум полезной работы, т. е. чтобы δ_n соответствовал $W_{п.у м}$ (рис. 3).

6. Время срабатывания электромагнита — время с момента подачи сигнала на обмотку электромагнита до перехода якоря в его конечное положение. При прочих равных условиях оно является функцией начальной противодействующей силы $F_{п}$:

$$t_{ср} = f(F_{п}) \text{ при } U = \text{const}$$



7. **Характеристика нагрева** представляет собой зависимость температуры нагрева обмотки электромагнита от продолжительности включенного состояния.

8. **Показатель добротности электромагнита**, определяемый как отношение массы электромагнита к величине условной полезной работы:

$$D = \text{масса электромагнита} / W_{\text{пу}}$$

9. **Показатель экономичности**, являющийся отношением потребляемой обмоткой электромагнита мощности к величине условной полезной работы:

$$\Xi = \text{потребляемая мощность} / W_{\text{пу}}$$

Все эти характеристики позволяют установить пригодность данного электромагнита к определенным условиям его работы.

Параметры электромагнитов

Кроме перечисленных выше характеристик, рассмотрим также некоторые из основных параметров электромагнитов. К ним относятся следующие:

а) **Мощность, потребляемая электромагнитом.** Предельная мощность, потребляемая электромагнитом, может ограничиваться как величиной допустимого нагрева его обмотки, так в некоторых случаях и условиями питания цепи обмотки электромагнита. Для силовых электромагнитов как правило, ограничением является его нагрев за период включенного состояния. Поэтому величина допустимого нагрева и ее правильный учет являются при расчете такими же важными факторами, как заданная сила и ход якоря. Выбор рациональной конструкции как в магнитном и механическом отношениях, так и в смысле тепловых характеристик позволяет при заданных условиях получить конструкцию с минимальными габаритами и массой, а, следовательно, и наименьшей стоимостью. Применение более совершенных магнитных материалов и обмоточных проводов также способствует увеличению эффективности конструкции.



В некоторых случаях электромагниты (для реле, регуляторов и пр.) проектируют из расчета получения максимального усилия, т. е. минимального потребления мощности при заданной полезной работе.

Такие электромагниты характеризуются сравнительно небольшими электромагнитными силами и ходами, и легкими подвижной частями. Нагрев их обмоток бывает значительно ниже допустимого.

Теоретически мощность, потребляемая электромагнитом, может быть сколь угодно снижена путем соответствующего увеличения размеров его катушки. Практически предел этому создают увеличивающаяся длина среднего витка обмотки и длина средней линии магнитной индукции, вследствие чего увеличение размеров электромагнита становится малоэффективным.

б) **Коэффициент запаса.** В большинстве случаев н. с. трогания можно считать равной н. с. срабатывания электромагнита.

Отношение н. с. соответствующей установившемуся значению тока, к н. с. срабатывания (критическая н. с.) (см. рис. 2) носит название коэффициента запаса:

$$k_z = I_y / I_{\text{ср}}$$

Коэффициент запаса электромагнита по условиям надежности всегда выбирается больше единицы.

в) **Параметр срабатывания** представляет собой минимальное значение н. с. тока или напряжения, при котором происходит срабатывание электромагнита (перемещение якоря от δ_n до δ_k).



г) **Параметр отпускания** — соответственно максимальное значение н. с, тока или напряжения, при котором якорь электромагнита возвращается в свое исходное положение.

д) **Коэффициент возврата.** Отношение н. с, при которой происходит возврат якоря в первоначальное положение, к н. с. срабатывания называется коэффициентом возврата электромагнита: $k_v = I_v / I_{ср}$
Для нейтральных электромагнитов значения коэффициента возврата всегда меньше единицы и для различных исполнений могут составлять от 0,1 до 0,9. При этом достижение величин, близких к обоим этим пределам, одинаково трудно.



Коэффициент возврата имеет наибольшее значение при максимальном приближении противодействующей характеристики к тяговой характеристике электромагнита. Уменьшение хода электромагнита также повышает коэффициент возврата.

Контрольные вопросы;

Ковы?

1. **Механическая эффективность электромагнита**

2. **Время срабатывания электромагнита**

3. **Характеристика нагрева**

4. **Показатель добротности электромагнита,**

5. **Показатель экономичности,**

6. **Параметры электромагнитов**

а) **Мощность, потребляемая электромагнитом**

б) **Коэффициент запаса.**

в) **Параметр срабатывания**

г) **Параметр отпускания**

д) **Коэффициент возврата**

Раздел Аппараты управления, защиты и автоматики напряжением до 1000В.

Тема; Основные понятия. Функциональное назначение аппаратов управления, защиты и автоматики.

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические параметры аппаратов управления, защиты и автоматики напряжением до 1000В.

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия, основные технические характеристики контактора переменного тока;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры контактора и магнитного пускателя.

Теоретическое обоснование;

Аппараты управления автоматики и защиты, предназначены для пуска, реверсирования, торможения, регулирования скорости вращения, напряжения, тока электрических машин, станков, механизмов или для пуска и регулирования параметров других потребителей электроэнергии в системах электроснабжения.

Основная функция этих аппаратов — это управление электроприводами и другими потребителями электрической энергии. Особенности: частое включение, отключение до 3600 раз в час т.е. 1 раз в секунду.

К ним относятся электрические **аппараты ручного управления** - пакетные выключатели и переключатели, рубильники, универсальные переключатели, контролеры и командоконтролеры, реостаты и др., и электрические **аппараты дистанционного управления** - электромагнитные реле, пускатели, контакторы и т. д.

2. **Аппараты защиты**, используются для коммутации электрических цепей, защиты электрооборудования и электрических сетей от сверхтоков, т. е. токов перегрузки, пиковых токов, токов короткого замыкания.

К ним относятся плавкие предохранители, тепловые реле, реле, автоматические и др.

3. **Контролирующие аппараты**, предназначены для контроля заданных электрических или неэлектрических параметров. К этой группе относятся датчики. Эти аппараты преобразуют электрические или неэлектрические величины в электрические и выдают информацию в виде электрических сигналов. Основная функция этих аппаратов заключается в контроле за заданными электрическими и неэлектрическими параметрами.

К ним относятся датчики тока, давления, температуры, положения, уровня, фотодатчики, а также реле, реализующие функции датчиков, например реле контроля скорости (РКС), реле времени, напряжения, тока.

Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам

Особенно многообразны конструктивные разновидности современных аппаратов, в связи с этим различны и требования, предъявляемые к ним. Однако существуют и некоторые общие требования вне зависимости от назначения, применения или конструкции аппаратов. Они зависят от назначения, условий эксплуатации, необходимой надежности аппаратов.

Изоляция электрического аппарата должна быть рассчитана в зависимости от условий возможных перенапряжений, которые могут возникнуть в процессе работы электрической установки.

Аппараты, предназначенные для частого включения и отключения номинального тока нагрузки, должны иметь высокую механическую и электрическую износоустойчивость, а температура токоведущих элементов не должна превышать допустимых значений.

При коротких замыканиях токоведущая часть аппарата подвергается значительным термическим и динамическим нагрузкам, которые вызваны большим током. Эти экстремальные нагрузки не должны препятствовать дальнейшей нормальной работе аппарата.

Электрические аппараты в схемах современных электротехнических устройств должны обладать высокой чувствительностью, быстродействием, универсальностью.

Общим требованием по всем видам аппаратов является простота их устройства и обслуживания, а также их экономичность (малогабаритность, наименьший вес аппарата, минимальное количество дорогостоящих материалов для изготовления отдельных частей).

Режимы работы электротехнических устройств

Номинальный режим работы - это такой режим, когда элемент электрической цепи работает при значениях тока, напряжениях, мощности указанных в техническом паспорте, что соответствует наивыгоднейшим условиям работы с точки зрения экономичности и надежности (долговечности).

Нормальный режим работы - режим, когда аппарат эксплуатируется при параметрах режима незначительно отличающихся от номинального.

Аварийный режим работы - это такой режим, когда параметры тока, напряжения, мощности превышают номинальный в два и более раз. В этом случае объект должен быть отключен. К аварийным режимам относят прохождение токов короткого замыкания, тока перегрузки, понижение напряжения в сети.

Надежность – безотказная работа аппарата за все время его эксплуатации.

Свойство электрического аппарата выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания и ремонтов, хранения и транспортирования.

Исполнение электрических аппаратов по степени защиты

Степень защиты от проникновения твердых тел и жидкости определяется ГОСТ 14254-80. В соответствии с ГОСТ устанавливается 7 степеней от 0 до 6 от попадания внутрь твердых тел и от 0 до 8 от проникновения жидкости.

Обозначение степеней защиты	Защита от проникновения твердых тел и соприкосновения персонала с токоведущими и вращающимися частями.	Защита от проникновения воды.
0	Специальная защита отсутствует.	
1	Большого участка человеческого тела, например, руки и твердых тел размером более 50 мм.	Капель, падающих вертикально.
2	Пальцев или предметов длиной не более 80 мм и твердых тел размером более 12 мм.	Капель при наклоне оболочки до 15 ⁰ в любом направлении относительно нормального положения.
3	Инструмента, проволоки и твердых тел диаметром более 2,5 мм.	Дождь, падающий на оболочку под углом 60 ⁰ от вертикали.
4	Проволоки, твердых тел размером более 1 мм.	Брызг, падающих на оболочку в любом направлении.
5	Пыли в количестве недостаточном для нарушения работы изделия.	Струй, выбрасываемых в любом направлении.
6	Защита от пыли полная (пыленепроницаемые).	Волн (вода при волнении не должна попасть внутрь).
7	-	При погружении в воду на короткое

		время .
8	-	При длительном погружении в воду.

Для обозначения степени защиты используется аббревиатура «IP». Например: IP54. Применительно к электрическим аппаратам существуют следующие виды исполнения:

1. Защищенные IP21, IP22 (не ниже).
2. Брызгозащищенные, каплезащищенные IP23, IP24
3. Водозащищенные IP55, IP56
4. Пылезащищенные IP65, IP66
5. Закрытое IP44 – IP54, у этих аппаратов внутреннее пространство изолировано от внешней среды
6. Герметичное IP67, IP68. Эти аппараты выполнены с особо плотной изоляцией от окружающей среды.

Климатическое исполнение электрических аппаратов определяется ГОСТ 15150-69. В соответствии с климатическими условиями обозначается следующими буквами: У (N) – умеренный климат, ХЛ (NF) – холодный климат, ТВ (ТН) – тропический влажный климат, ТС (ТА) – тропический сухой климат, О (U) – все климатические районы, на суше, реках и озерах, М – умеренный морской климат, ОМ – все районы моря, В – все макроклиматические районы на суше и на море.

Категории размещения электрических аппаратов:

1. На открытом воздухе,
2. Помещения, где колебания температуры и влажности не существенно отличаются от колебаний на открытом воздухе,
3. Закрытые помещения с естественной вентиляцией без искусственного регулирования климатических условий. Отсутствуют воздействия песка и пыли, солнца и воды (дождь),
4. Помещения с искусственным регулированием климатических условий. Отсутствуют воздействия песка и пыли, солнца и воды (дождь), наружного воздуха,
5. Помещения с повышенной влажностью (длительное наличие воды или конденсированной влаги)

Климатическое исполнение и категория размещения вводится в условное обозначение типа электротехнического изделия.

Выбор электрических аппаратов

Выбор электрических аппаратов представляет собой задачу, при решении которой должны учитываться:

- коммутируемые электрическим аппаратом токи, напряжения и мощности;
- параметры и характер нагрузки — активная, индуктивная, емкостная, низкого или высокого сопротивления и др.;
- число коммутируемых цепей;
- напряжения и токи цепей управления;
- напряжение катушки электрического аппарата;
- режим работы аппарата — кратковременный, длительный, повторно-кратковременный;
- условия работы аппарата — температура, влажность, давление, наличие вибрации и др.;
- способы крепления аппарата;

- экономические и массогабаритные показатели;
- удобство сопряжения и электромагнитная совместимость с другими устройствами и аппаратами;
- стойкость к электрическим, механическим и термическим перегрузкам;
- климатическое исполнение и категория размещения;
- степени защиты IP,
- требования техники безопасности;
- высота над уровнем моря;
- условия эксплуатации.

Контрольные вопросы.

1. Какие требования предъявляются аппаратам управления и защиты
2. Какое климатическое исполнение электрических аппаратов определяется ГОСТ
3. Для чего используются аппараты защиты.

Тема; Классификация реле: Электромагнитные, реле, управления реле тока напряжения, времени промежуточные реле.

Тема: Изучение работы и конструкции контактора переменного тока.

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические параметры контактора переменного тока.

Студент должен *знать*:

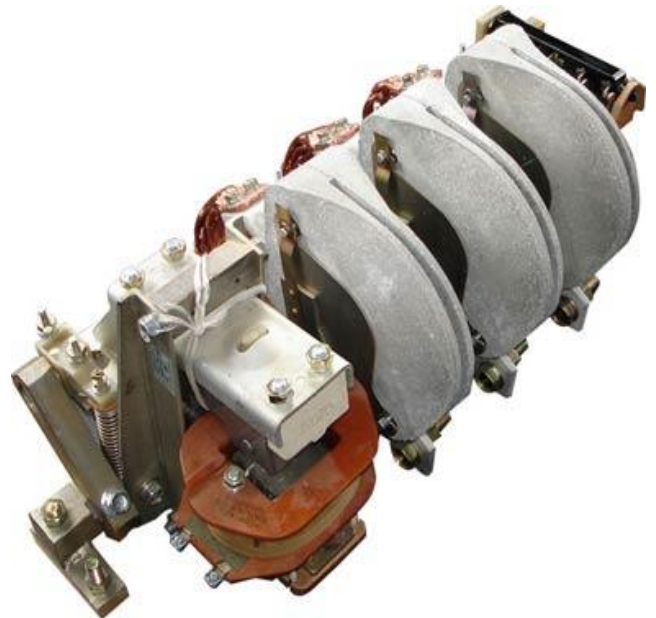
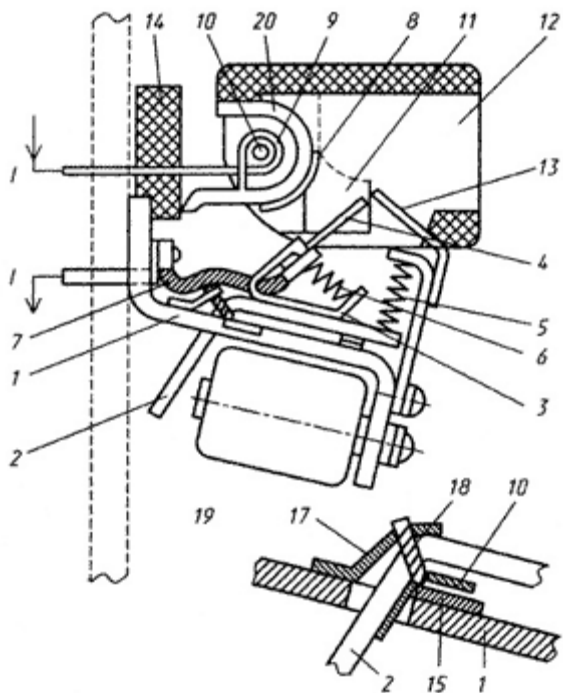
- устройство, принцип действия, основные технические характеристики контактора переменного тока;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры контактора и магнитного пускателя.

Теоретическое обоснование

Контактором называют электромагнитный аппарат дистанционного управления, предназначенный для частых включений и отключений электрических цепей, идущих к сетям, электроприемникам и т. п. и рассчитанных на сравнительно большое номинальное значение силы тока (например, мощных электродвигателей, электрических печей, электрооборудования кранов, троллейбусов). Контакторы могут работать на переменном и постоянном токах при напряжении соответственно до 660 и 750 В.



1 - стальная скоба-основание; 2 - якорь; 3 - скоба; 4 и 8 - подвижный и неподвижный контакты; 5 - возвратная пружина; 6 - контактная пружина; 7 - медная гибкая связь; 9 - катушка магнитного дутья (МД); 10 - сердечник системы МД; 11 - стальные полосы МД; 12 - дугогасительная камера; 13 и 20 - дугогасительные рога; 14 - изоляционное основание; 15 - вставка-призма вращения; 16 - сменная пластина; 17 - планка; 18 - пружина; 19 - включающая катушка; I - коммутируемый ток

Рисунок 12.1 - Конструктивная схема контактора постоянного тока КПВ 600

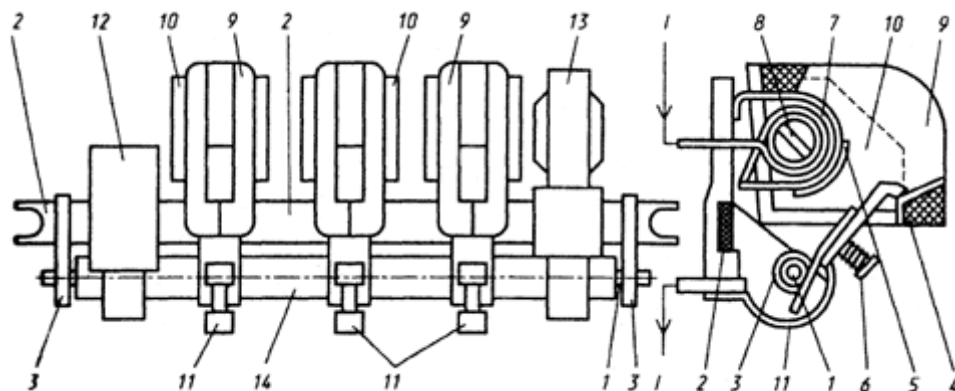
Контактор (рисунок 12.1) состоит из двух основных частей: магнитной системы (катушка с магнитопроводом) и контактной системы (главные контакты, помещенные в дугогасящую камеру, и блок-контакты).

Контакторы постоянного тока изготавливают с одним или двумя полюсами, а контакторы переменного тока - с двумя, тремя, четырьмя или пятью полюсами.

Контакторы переменного и постоянного токов, как правило, имеют конструктивные отличия, поэтому обычно не взаимозаменяемы. Контакторы, как и другие электромагнитные аппараты, имеют магнитную систему, на которой расположена катушка управления. Подвижная часть магнитной системы (якорь) механически связан с группой подвижных контактов - силовых и вспомогательных (или блок-контактов). На рисунке 12.1 представлена конструкция контактора постоянного тока, а на рисунке 12.2 - контактора переменного тока.

В контакторах не предусмотрены защиты, присущие автоматам и магнитным пускателям. Контакторы обеспечивают большое число включений и отключений (циклов) при дистанционном управлении ими. Число этих циклов для контакторов разной категории изменяются от 30 до 3600 в час. Контакторы выпускаются переменного (типа К и КТ) и постоянного (типа КП, КМ, КПД) токов.

Контакторы имеют главные (силовые) контакты и вспомогательные или блок-контакты, предназначенные для организации цепей управления и блокировки. Главные контакты, как правило, снабжаются специальными дугогасительными устройствами.



1 - вал; 2 - металлическая изолированная рейка; 3 - подшипники; 4 и 5 - подвижный и неподвижный контакты; 6 - контактная пружина; 7 - катушка магнитного дутья (МД); 8 - сердечник системы МД; 9 - дугогасительная камера; 10 - полосы системы МД; 11 - гибкая медная связь; 12 - узел вспомогательных контактов; 13 – электромагнит; 14 – изоляционный слой на металлическом валу;

I – коммутирующий ток

Рисунок 12.2 - Конструктивная схема контактора КТ6000

Классификация электромагнитных контакторов.

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.

Тип контактора обозначают сочетанием букв:

КП, КН, КПП или КПД - контакторы постоянного тока;

КТ, КТП или КНТ - контакторы переменного тока.

Кроме этого, с помощью дополнительных букв и цифр указывают также следующее:

серию - первая цифра;

исполнение главных контактов - вторая цифра: 1 - один замыкающий контакт, 2 - два замыкающих контакта, 3 - один размыкающий и один замыкающий контакты;

величину контакта - третья цифра: 1 - до 63 А, 2 - до 100 А, 3 - до 160 А, 4 - до 250 А, 5 - до 630 А;

индекс очередной модификации - первая буква после цифр;

климатические условия эксплуатации - вторая буква после цифр;

среду, в которой контактор предназначен для работы, - последняя цифра: 1 - на открытом воздухе, 2 - под навесом, 3 - в помещении.

Рассмотрим пример: КПД-121ЕУЗ - это контактор постоянного тока, предназначен для управления крановым электрооборудованием, серии 100, имеет два замыкающих контакта, первой величины, нормально работает в умеренном климате в помещении.

Ход работы

Оборудование: контактор, отвертки.

- 1) Внимательно осмотрите контактор.
- 2) Определите тип контактора, запишите технические данные.
- 3) Снимите крышку контактора, рассмотрите устройство его основных частей.
- 4) Опишите назначение и устройство контактора переменного тока.
- 5) Ответьте на контрольные вопросы.

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Технические данные контактора.
- 3) Назначение и устройство контактора переменного тока.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1) Что называют контактором?
- 2) Как присоединяют к управляемой цепи контактор?
- 3) Сколько полюсов может быть у контактора постоянного тока, переменного тока?
- 4) Как маркируются контакторы?
- 5) Расшифруйте марку контактора: КМВ-621У2, КП-7 У1.

Тема; Классификация реле: реле с замедлением, реле защиты энергосистем; поляризованные реле, индукционные, тепловые, реле на герконах.

Изучение работы и конструкции контактора переменного тока.

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические параметры реле.

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия, основные технические характеристики реле
- *уметь*:
- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры реле.

Теоретическое обоснование;

Классификация. Под реле понимают такой электрический аппарат, в котором при плавном изменении управляющего (входного) параметра до определенной наперед заданной величины происходит скачкообразное изменение управляемого (выходного) параметра. Хотя бы один из этих параметров должен быть электрическим.

По области применения реле можно разделить на реле для схем автоматики, для управления и защиты электропривода и защиты энергосистем. По принципу действия реле делятся на электромагнитные, поляризованные, тепловые, индукционные, магнитоэлектрические, полупроводниковые и др.

В зависимости от входного параметра реле можно разделить на реле тока, напряжения, мощности, частоты и других величин. Отметим, что реле может реагировать не только на входной параметр, но и на разность значений (дифференциальное реле), изменение знака или скорости изменения входного параметра. Иногда реле, имеющее только один входной параметр, должно воздействовать на несколько независимых цепей. В этом случае реле воздействует на другое, так называемое промежуточное реле, которое имеет необходимое число управляемых цепей. Промежуточное реле используется и тогда, когда мощность основного реле недостаточна для воздействия на управляемые цепи.

По принципу воздействия на управляемую цепь реле делятся на контактные и бесконтактные. Выходным параметром бесконтактных реле является резкое изменение сопротивления, включенного в управляемую цепь. Разомкнутому состоянию контактов контактного реле соответствует большое сопротивление управляемой цепи бесконтактного реле. Это состояние бесконтактного реле называется закрытым. Замкнутому состоянию контактов контактного реле соответствует малое сопротивление в управляемой цепи бесконтактного реле. Такое состояние бесконтактного реле называется открытым.

По способу включения реле различаются на первичные и вторичные.

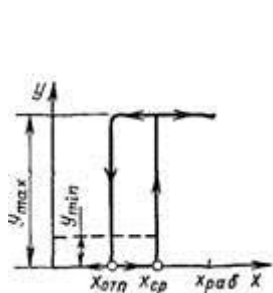


Рис. 9.1. Характеристика управления реле

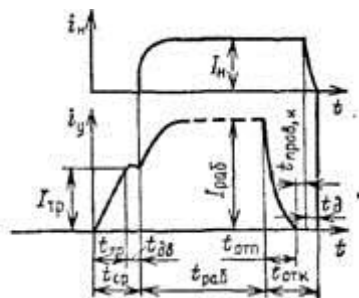


Рис. 9.2. Выходной и входной параметры электромагнитного реле

Первичные реле включаются в управляемую цепь непосредственно, вторичные — через измерительные трансформаторы.

б) Основные характеристики реле. Рассмотрим характеристику управления реле, представляющую собой зависимость выходного параметра от входного для реле с замыкающим контактом. У этих реле при отсутствии входного сигнала контакты разомкнуты и ток в управляемой цепи равен нулю. Для бесконтактных реле сопротивление, введенное в управляемую цепь, достаточно велико и ток имеет минимальное значение. На рис. 9.1 по оси абсцисс отложено значение входного параметра x , а по оси ординат — выходного параметра y . Значение входного параметра x (напряжения, тока и т.д.), при котором происходит срабатывание реле, называется параметром (напряжением, током и т.д.) срабатывания. До тех пор, пока $x < x_{ср}$, выходной параметр y равен нулю либо своему минимальному значению $y_{тн}$ (для бесконтактных аппаратов). При $x = x_{ср}$ выходной параметр скачком меняется от $y_{тн}$ до $y_{тах}$. Происходит срабатывание реле. Если после срабатывания уменьшать значение входного параметра, то при $x = x_{отп}$ происходит скачкообразное возвращение выходного параметра от значения $y_{тах}$ до 0 или $y_{тн}$ — отпускание реле.

Значение входного параметра, при котором происходит скачкообразное отпускание реле, называется параметром отпускания. Значения параметров срабатывания или отпускания, на которые отрегулировано реле, называются уставкой по входному параметру.

Время с момента подачи команды на срабатывание до момента начала возрастания выходного параметра называется временем срабатывания. Это время зависит от конструкции реле, схемы его включения и входного параметра. Чем больше значение входного параметра $x_{раб}$ по сравнению с $x_{ср}$, тем быстрее срабатывание реле.

Отношение $J_{раб}/J_{ср}$ называется коэффициентом запаса. Следует отметить, что с ростом коэффициента запаса возрастает вибрация контактов электромагнитного реле.

Для ряда реле очень важно отношение $x_{отп}/x_{ср}$, называемое коэффициентом возврата.

Время с момента подачи команды на отключение до достижения минимального значения

выходного параметра называется временем отключения. Для контактных реле это время состоит из двух интервалов — времени отпускания и времени горения дуги. На рис. 9.2 даны зависимости входного u и выходного g' параметров электромагнитного реле от времени. Входным параметром в данном случае является ток в обмотке реле, выходным — ток в управляемой цепи (цепи нагрузки).

Для рис. 9.2 принято, что включение обмотки реле происходит при $t = 0$. При $g = g_{тр}$ якорь электромагнита реле трогается и начинает движение. В течение времени $g_{дв}$ якорь перемещается и в конце хода замыкается контакт в цепи нагрузки. Ток нагрузки возрастает от нуля до установившегося значения $I_{н}$. Время $t_{ср} = t_{тр} + t_{дв}$ называется временем срабатывания реле. После этого ток в обмотке реле продолжает расти до установившегося значения $I_{р/аб}$. При отключении реле из рабочего состояния граб цепь его обмотки разрывается и ток в ней спадает. В момент времени $t_{отп}$, когда усилие противодействующей пружины становится больше электромагнитного усилия, происходит отпускание якоря. Контакты реле разомкнутся после выбора провала контактов через время $t_{отк}$ (см. § 3.4). После размыкания контактов загорается дуга, которая погаснет через время $t_{д}$ и ток в нагрузке $I_{н} = 0$. Время $t_{отк} = t_{отп} + t_{д}$ называется временем отключения.

Важным параметром, характеризующим усилительные свойства реле, является отношение максимальной мощности нагрузки в управляемой цепи $P_{у}$ к минимальной мощности входного сигнала $P_{ср}$, при котором происходит срабатывание реле.

Для контактных реле максимальная мощность $P_{у}$ определяется не длительным током, допустимым для данного контакта, а током нагрузки, который может быть многократно отключен.

в) Требования, предъявляемые к реле. Требования к реле в значительной мере определяются их назначением. К реле защиты энергосистем предъявляются требования селективности, быстродействия, чувствительности и надежности.

Под селективностью понимается способность реле отключать только поврежденный участок энергосистемы. Достаточно высокое быстродействие позволяет резко снизить последствия аварии, сохранить устойчивость системы при аварийных режимах, обеспечить высокое качество электроэнергии. Минимальное значение входного параметра, при котором реле срабатывает, называется чувствительностью. Увеличение чувствительности позволяет улучшить качество электротехнических устройств. Так, например, повышение чувствительности релейной защиты позволяет сократить длину линии электропередачи, которая не может быть защищена от аварийных режимов.

Реле для защиты энергосистем должны иметь высокую надежность. В противном случае возможно развитие тяжелых аварий и недоотпуск большого количества электроэнергии. Реле защиты энергосистемы эксплуатируются, как правило, в облегченных условиях. Они не подвержены воздействию ударов, вибрации, а также пыли и газов, вызывающих коррозию. Из-за того что аварийные режимы в системе редки, к этим реле не предъявляются высокие требования в части износостойкости.

К реле для схем автоматики, а также для управления и защиты электропривода предъявляются самые разнообразные специфические требования. Эти реле работают в тяжелых условиях эксплуатации: возможны удары, вибрация, воздух часто засорен пылью или агрессивными производственными примесями. Так как число включений в час в современных схемах электропривода достигает 1000—1200 и более, реле управления должны иметь механическую и электрическую износостойкость до $(1 - 10) \cdot 10^6$ циклов. Надежность работы схем автоматики зависит от надежности работы отдельных элементов, в том числе и реле.

Из-за большого количества реле в современных схемах и большого количества выполняемых ими операций к ним предъявляются требования высокой надежности.

Принцип действия герконов

Принцип действия герконов основан на использовании сил взаимодействия, возникающих в магнитном поле между ферромагнитными телами. При этом силы вызывают деформацию и перемещение ферро магнитных токопроводов электронов.



Магнитоуправляемый контакт (геркон) представляет собой электрический аппарат, изменяющий состояние электрической цепи посредством механического размыкания или замыкания ее при воздействии управляющего магнитного поля на его элементы, совмещающие функции контактов, пружин и участков электрической и магнитной цепей.

Использование герконов в технике. Герконовое реле

В настоящее время на базе герконов создано большое количество герконовых реле, кнопок, тумблеров, переключателей, распределителей сигналов, датчиков, регуляторов, сигнализаторов и т. д. Во многих отраслях техники для контроля положения подвижных деталей целесообразно использование герконовых датчиков, счетчиков готовой продукции. ,

Устройство простейшего герконового реле

Простейшее герконовое реле с замыкающими контактами состоит из двух контактных сердечников с высокой магнитной проницаемостью (пермаллой), размещенных в стеклянном герметичном баллоне, заполненном либо инертным газом, либо чистым азотом, либо сочетанием азота с водородом. Давление внутри баллона герконового реле $0.4, 0.6 \cdot 10^5$ Па.



Инертная среда предотвращает окисление контактных сердечников.

Стеклянный баллон герконового реле устанавливается внутри обмотки управления, питаемой постоянным током. При подаче тока в обмотку герконового реле возникает магнитное поле, которое проходит по контактным сердечникам через рабочий зазор между ними и замыкается по воздуху вокруг катушки управления. Создаваемый при этом магнитный поток при прохождении через рабочий зазор образует тяговую электромагнитную силу, которая, преодолевая упругость контактных сердечников, соединяет их между собой.

Для создания минимального переходного сопротивления контактов, поверхности касания герконов покрывают золотом, радием, палладием или (на худой конец) серебром. При отключении тока в обмотке электромагнита герконового реле сила исчезает, и под действием сил упругости контакты размыкаются.

В герконовых реле отсутствуют детали, подвергающиеся трению, а контакты сердечника многофункциональны, так как при этом выполняют одновременно функцию магнитопровода, пружины и токопровода.

Для уменьшения размеров намагничивающей катушки увеличивают допустимую плотность тока, используя для намотки термостойкий эмалированный провод. Все детали изготавливаются штамповкой, а соединяются сваркой или пайкой. Для уменьшения зоны включенного состояния в герконах применяются магнитные экраны.



Пружины герконов не имеют предварительных натягов, поэтому включение их контактов происходит без периода трогания.

Если в герконах наряду с электромагнитом используется постоянный магнит, то герконы из нейтральных переходят в поляризованные.

В отличие от электромагнитных реле обычного типа, у которых контактное нажатие зависит от параметров контактных пружин, контактное нажатие герконовых реле зависит от МДС обмотки и увеличивается с ее ростом.

Контрольные вопросы:

1. Опишите основные характеристики реле.
2. Опишите простейшее герконовое реле
3. Дать определение реле.
4. Перечислите требования к реле.
5. Какой материал применяется для изготовления контактов?
6. Перечислите типы реле в зависимости от хода якоря.

Раздел Аппараты распределительных устройств

Тема: Основные понятия, область применения, устройство конструкции разъединителей высоковольтных выключателей.

Практическая работа

Цель занятия: Ознакомление студентов с конструкциями и приводами высоковольтных аппаратов.

Задание: Рассмотреть конструкцию и устройства следующих аппаратов, а также их привода: разъединитель, выключатель нагрузки, отделитель, автоматический выключатель масляный.

Ход работы

Разъединитель.

Разъединитель – это коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации цепи без тока.

Назначение – создание надежного видимого разрыва цепи для обеспечения безопасного проведения ремонтных работ на оборудовании и токоведущих частях электроустановки.

Разъединитель не имеет дугогасительной устройств, поэтому прежде чем оперировать разъединителем, цепь должна быть отключена выключателем.

Допускается использовать разъединители для отключения и включения незначительных токов: ёмкостных токов шин коротких кабельных линий, токов утечки, токов намагничивания трансформаторов. Допустимость таких операций определяется ПТЭ и местными инструкциями по эксплуатации электроустановки.

Во включенном положении разъединители надёжно выдерживают токи короткого замыкания, гарантированные заводом-изготовителем.

Разъединители для внутренней установки могут быть одно- и трех полюсными.

Трех полюсный разъединитель типа РВ изображен на рисунке 5.1.

Разъединители РВ рассчитаны на номинальный ток 400 -1000А, напряжение 6–35кВ.

На подвижных ножах устанавливаются стальные пластины (на рис. 5.1 не указаны), которые играют роль магнитного замка: при протекании токов короткого замыкания через включенный разъединитель они намагничиваются и, притягиваясь, друг к другу, создают дополнительное давление в контакте, препятствуя отбросу ножа от контакта.

Кроме главных ножей, разъединитель может быть снабжен заземляющими ножами (типа РВЗ), которые используют для заземления обесточенных токоведущих частей.

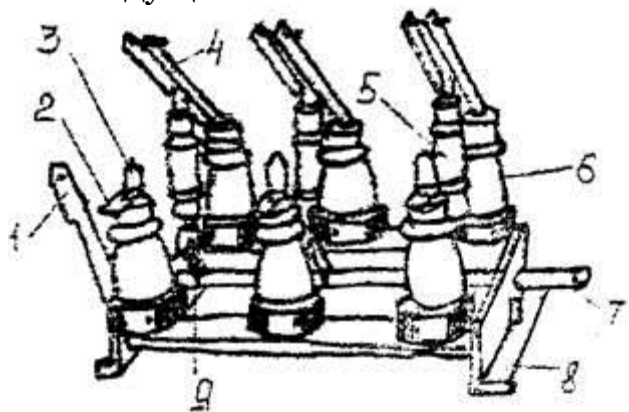


Рисунок 5.1. Трех полюсный разъединитель типа РВ.

Где 1 – приводной рычаг на валу разъединителя;

2 – контакт для присоединения шин;

3 – неподвижный контакт;

4 – подвижный нож;

5 – фарфоровая тяга;

6 – опорный изолятор;

7 – вал разъединителя;

8 – металлическая рама;

9 – поводок фарфоровой тяги

Разъединители для наружной установки должны работать в неблагоприятных условиях окружающей среды (низкие температуры, гололёд, осадки). Этим требованиям отвечают разъединители горизонтально-поворотного типа РИД. Здесь нож состоит из двух частей, закрепленных на опорных колонках изоляторов. При отключении колонки поворачиваются вокруг своей оси в противоположных направлениях, и ножи перемещаются в горизонтальной плоскости, как бы «ломаясь» на две половины, что позволяет разрушить корку льда, которым может быть покрыт контакт.

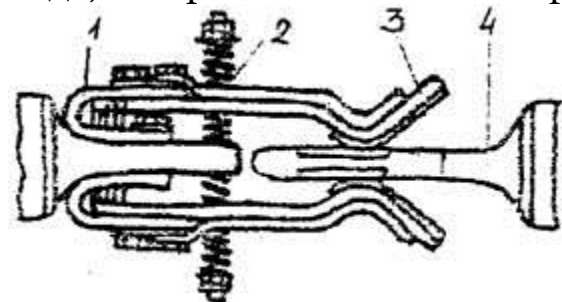


Рисунок 5.2. Контактная система разъединителя горизонтально-поворотного типа для наружной установки РИДЗ-110

1 – гибкая связь; 2 – пружины; 3 – одна часть ножа в виде пружинящих помелей;

4 – другая часть ножа в виде лопатки.

В распределительных устройствах высоких напряжений применяются и другие типы разъединителей: вертикально-поворотные, подвесные.

Отделитель.

Отделитель – коммутационный аппарат, предназначенный для автоматического отключения поврежденного участка линии или трансформатора после

искусственного короткого замыкания, а так для отключения и включения токов (индуктивных) холостого хода трансформаторов и ёмкостных токов нагруженных линий.

Внешне отделитель не отличается от двух колонкового разъединителя, но у него для отключения имеется пружинный привод (ПРО), который обеспечивает отключение за 0,4–0,5 с. Включение отделителя производится вручную.

Отделители могут иметь заземляющие ножи.

Отделители не могут отключать ток нагрузки и ток короткого замыкания, поэтому в схемах управления отделителями имеется блокировка, которая запрещает отключение отделителя, если через трансформаторы тока проходит ток.

При неблагоприятных погодных условиях (мороз, гололёд) применяют закрытые отделители (ОЭ), контактная система которых расположена внутри фарфорового корпуса, заполненного элегазом SF₆ избыточным давлением 0,3 МПа. Высокая электрическая прочность элегаза обеспечивает небольшие габариты и надёжную работу аппаратов.

Выключатели нагрузки.

Выключатель нагрузки – коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения токов нагрузки в нормальном режиме.

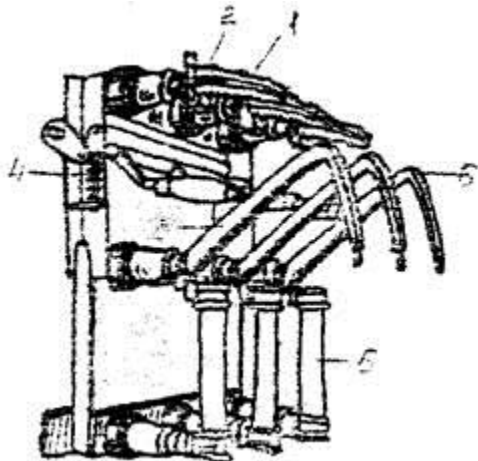


Рисунок 5.3 Выключатель нагрузки ВНП-16.

1 – дугогасительная камера; 2 – неподвижный контакт; 3 – подвижный контакт; 4 – отключающая пружина; 5 – плавкий предохранитель; 6 – дугогасительный контакт.

Выключатели нагрузки предназначены для отключения и включения цепей под нагрузкой в электрических установках напряжением 6–10 кВ при небольшой мощности ($I_{\text{ном}} = 200 + 400 \text{ А}$) и не рассчитаны на отключение токов короткого замыкания. Выключатель нагрузки в комплекте с высоковольтными предохранителями типа ПК-6 или ПК-10 обеспечивает защиту цепей от токов короткого замыкания.

Этот выключатель представляет собой трех полюсный разъединитель внутренней установки на 6–10 кВ, к каждой фазе которого построена из пластмассы дугогасительная камера. Внутри камеры расположены газогенерирующие вкладыши из органического стекла. Подвижный контакт перемещается внутри вкладыша. Гашение дуги происходит в дугогасительной камере. При отключении цепи под нагрузкой между контактами выключателя

образуется электрическая дуга, температура в дугогасительной камере резко возрастает, и органическое стекло выделяет поток газов, который гасит дугу. Выключатели нагрузки выпускаются без предохранителей типа ВН-16 и с предохранителями типов ВНП-16 и ВНП-17 (рис. 5.3).

При включении сначала замыкаются дугогасительные контакты, а затем главные. Вкладыши без замены позволяют отключить 300 раз ток 50А, 500 раз ток 100А, и 3 раза ток 400А.

Выключатели нагрузки могут иметь заземляющие ножи (типы ВН₃-16, ВНП₃-16, ВНП₃-17).

Привод ВН может быть ручным (ПР), ручным с дистанционным отключением (ПРА) или электромагнитным (ПЭ) с дистанционным включением и отключением.

Выключатели нагрузки применяются в ячейках КСО в системе электроснабжения промышленных предприятий, городов, строительных площадок.

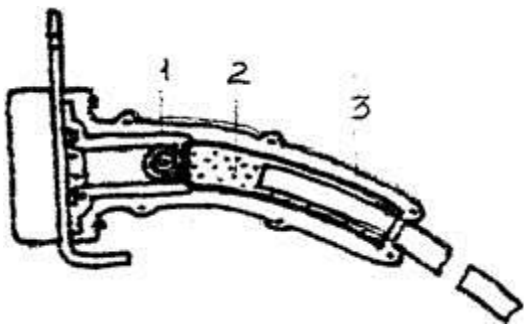


Рисунок 5.4. Дугогасительная камера выключателя нагрузки ВН-10
Где: 1 – пружинящие контакты; 2 – газогенерирующие вкладыши; 3 – дугогасительный контакт

Вакуумный выключатель нагрузки ВНВ-10/320 изготавливается на напряжение 6 и 10кВ и номинальные токи до 320А. Он предназначен для многократного отключения тока 900А и предельно отключаемый ток 2кА. Основной его частью является вакуумная дугогасительная камера КДВ-21. Выключатель ВНВ предназначен для установки в шкафах КРУ и применяется в горнодобывающей промышленности, на пунктах, питания экскаваторов, драг, в рудничных, установках, для коммутации дуговых печей.

Контрольные вопросы:

1. Для чего нужен автоматический высоковольтный маслонаполненный выключатель
2. Дайте характеристику линейным разъединителям опишите его устройство и принцип действия.

Тема: Назначение и область применения маслонаполненных выключателей
практическая работа

Тема: «Маслонаполненные выключатели и приводы к ним».

Цель работы: Изучить конструкцию и тип маслонаполненных выключателей и приводов к ним.

Ход работы: Изучить материал. Составить опорный конспект ответить на контрольные вопросы.

Выполнить;

а. описать назначение и типы выключателей.

б. описать устройство.

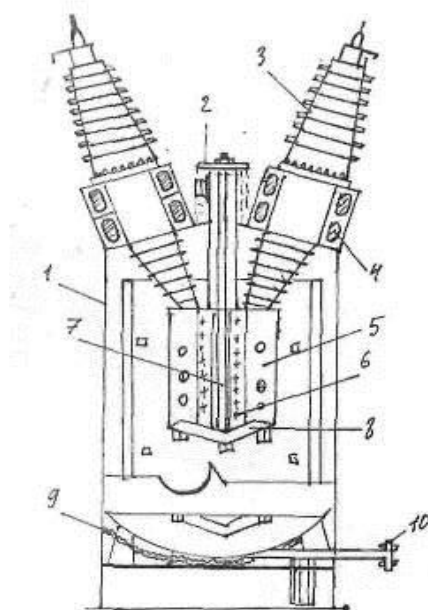
в. Составить чертеж.

Выполнение работы.

Выключатели предназначены для коммутации электрических цепей переменного тока, а также автоматического отключения этих цепей при КЗ и перегрузках.

Рассмотрим конструкцию бакового выключателя У – 220 – 2000 – 40У1 (серия «Урал» на 220кВ, номинальный ток 2000А, ток отключения 40кВ, умеренный климат, первая категория размещения).

Несущим элементом каждого полюса выключателя служит стальной бак, в верхней части которого через крышку проходят токонесущие маслонаполненные вводы и выводы, перемещенные внутрь фарфоровых изоляторов. На нижней части вводов и выводов находятся неподвижные контакты, закрытые дугогасительными устройствами ДУ, к каждой из которых установлен шунтирующий резистор для облегчения отключения емкостных и малых индуктивных токов. Приводной механизм соединен с изоляционной направляющей штангой, которая движется вертикально и перемещает траверсу с подвижными контактами. Приводные механизмы всех трех полюсов соединены общей тягой, связанной с электромагнитным или пневматическим приводом, который укреплен на крайнем баке. На выключателе установлены предохранительные клапаны, магнитопроводы с вторичными обмотками встроенных трансформаторов тока и патрубки для заливки масла. В нижней части имеется овалный лаз для производства работ по монтажу и регулировке выключателя и устройство льдоулавливающее, устройство для электроподогрева бака. Внутренняя стенка бака изолирована листами из электрокартона. Вводы и выводы, так же как и весь бак, залиты трансформаторным маслом.



Автоматический выключатель маломасляный.

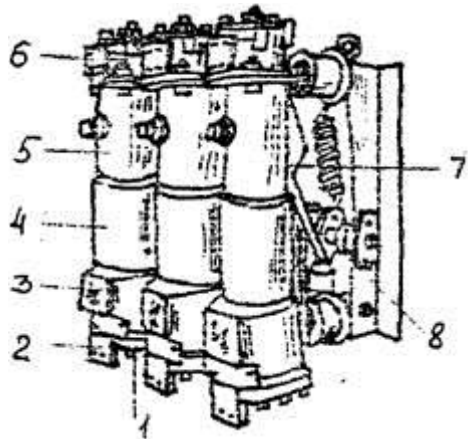
Масляные выключатели являются коммутационным аппаратом для включения и отключения электрических цепей напряжением выше 1кВ при рабочем режиме и при перегрузках и коротких замыканиях.

В маломасляных выключателях (горшковых) для каждой фазы имеется отдельный стальной шлендр, в котором разрываются контакты, и гасится дуга. Гашение происходит в дугогасительной камере, установленной в цилиндре в месте разрыва контактов. Камера изготавливается из изоляционных материалов – фибры или гетинакса. Минеральное масло в выключателях служит для гашения дуги и изоляции промежутка между разомкнутыми контактами данной фазы.

Количество масла в масляных выключателях от 4,5 до 10 кг в зависимости от типа выключателя. Это делает их невзрыво – не пожароопасными и позволяет устанавливать в открытых камерах распределительных устройств напряжением выше 1кВ.

В городских сетях широко применяются выключатели типа ВМП-10 и ВМГ-10. Выключатели серии ВМП-10 изготавливаются на номинальные токи 600, 1000, 1500, 3000А и имеют вес масла 4,5 кг. Выключатели ВМГ-10 изготавливаются на номинальные токи 630 и 1000А.

Масляные выключатели могут включаться и отключаться вручную и автоматически под действием аппаратов защиты и управления.



Масляный выключатель ВМП-10

Где: 1 – крышка; 2,6 – зажимы; 3 – фланец; 4 – бак; 5 – корпус; 7 \ - изолирующая тяга; 8 – вал.

Внутри каждого полюса имеется неподвижный контакт розеточного типа и подвижный контактный стержень. Во включенном положении контактный стержень находится в розеточном контакте. При отключении он движется вверх, контакты размыкаются, образуется дуга, которая испаряется и разлагает масло. Давление резко возрастает, в дугогасительной камере создается поперечное дутье газами и парами масла, в результате чего дуга гаснет. Контакты выключателя облицованы металлокерамикой для увеличения их дугостойкой.

Приводы

Приводы выключателей служат для включения, удержания во включенном положении и отключения выключателей. При включении привод совершает значительную работу, связанную с затратой энергии на преодоление сил трения в механизме и передаче, сил тяжести движущихся частей, сопротивления отключающих пружин. При отключении работа привода направлена на освобождение механизма, удерживающего выключатель во включенном положении. Само отключение происходит за счет сжатых или растянутых отключающих пружин.

1) Ручные приводы применяются для маломощных выключателей, когда мускульной силы оператора достаточно для совершения работы включения.

Отключение дистанционное и автоматическое. Наиболее распространены приводы ПРА-17 для выключателей нагрузки ВН-10.

Ручной привод типа ПР-10, представляющий рычажно-шатунный механизм прямого, применяется для ручного управления разъединителями внутренних электроустановок 6–10 кВ.

На подстанциях небольшой мощности для управления масляными выключателями используют ручные приводы типа ПРБА (привод рычажной блинкерный с автоматическим отключением).

2) Пружинный привод является приводом косвенного действия. Энергия для включения запасается в мощной пружине, которая заводится от руки или от двигателя. Типы приводов для управления масляными выключателями: ПП-67 и ППМ-10. Достоинства: просты, удобны в обслуживании, дешевы, потребляют незначительную мощность, надёжны.

Время завода пружин – 15 секунд. Отключение производится отключающими пружинами выключателя дистанционно или автоматически.

Пружинный привод применяется в маломасляных выключателях ВМПП-10, ВМТ – 110, в вакуумных выключателях ВВТП-10.

3) Электромагнитный привод – привод прямого действия: энергия для включения сообщается приводу в процессе самого включения от источника постоянного тока. Усилие для включения выключателя создается стальным сердечником, катушка которого получает питание от источника постоянного тока. Для маломасляных выключателей применяется привод ПЭ-11, для более мощных выключателей – ПЭ-21, ПЭ-31, а для наружной установки – ШПЭ-44, ШПЭ-45. Недостаток – необходимость для их работы аккумулятора или выпрямителя.

4) Пневматические приводы создают усилие на включение за счет сжатого воздуха, который подается в пневматический цилиндр с поршнем, заменяющий электромагнит включения. Такие приводы требуют установки компрессоров.

Пневматические приводы обычно применяются для выключателей 110 и 220 кВ.

5.4.6 Условно графические обозначения в электрических схемах.

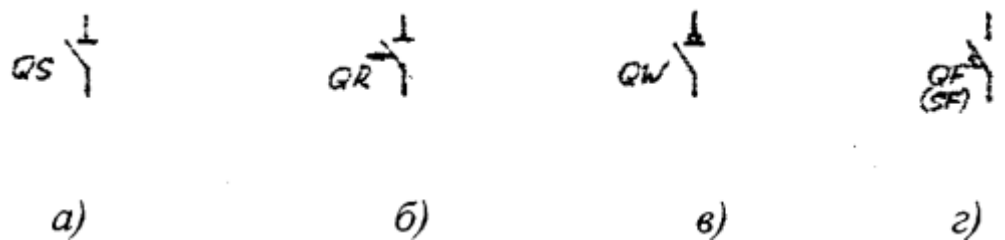


Рисунок 5.6. Условно графические обозначения:

а) – разъединитель; б) – отделитель; в) – выключатель нагрузки; г) – выключатель автоматический (QF – в силовых цепях, SF – в цепях управления).

Контрольные вопросы:

1. Гашение дуги высоким давлением.
2. Гашение электрической дуги в масле.
3. Гашение электрической дуги воздушным дутьем.
4. Гашение электрической дуги воздушным дутьем.
5. Гашение дуги в дугогасительной решетке.
6. Гашение дуги постоянного тока.

7. Гашение дуги переменного тока.

Тема: Назначение и область применения токоограничивающих реакторов, разрядников ограничителей напряжения комплектных распределительных устройств

Цель работы:

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия разрядников и ограничителей перенапряжений.
2. Изучить порядок проведения испытаний и измерений разрядников и ограничителей перенапряжений.
3. Научиться применять инструмент и приборы для проведения испытаний и измерений разрядников и ограничителей перенапряжений.
4. Изучить меры безопасности при проведении испытаний.

Ход работы. Изучить теоретический материал составить опорный конспект.

Теория:

Область применения

Грозовые разряды, воздействуя на воздушные линии электропередачи и элементы ОРУ, создают в электроустановках большие напряжения, во много раз превосходящие номинальную величину (атмосферные перенапряжения).

Результатом атмосферных перенапряжений являются повреждения изоляции электроустановок, перекрытия фарфоровых изоляторов на линиях и подстанциях, пробой внутренней изоляции аппаратов и обмоток трансформаторов и машин и т.д.

Атмосферные перенапряжения возникают при грозовых разрядах вблизи от электроустановок (индуктивные перенапряжения) и при прямых ударах молнии в линии электропередачи или открытые подстанции. Индуктивное перенапряжение представляет серьёзную опасность для установок напряжением до 35кВ, так как амплитуда этих перенапряжений лежит в пределах 300-500кВ, а импульсная прочность изоляции электроустановок 35 кВ составляет около 200кВ.

Наиболее опасным для электроустановок всех напряжений являются прямые удары молнии, которые сопровождаются протеканием очень больших токов (от десятка до нескольких сотен тысяч ампер) и возникновением перенапряжений, в десятки раз превышающих номинальное напряжение любой величины. Для защиты изоляции от индуктивных атмосферных перенапряжений на линиях электропередачи в ОРУ и в ЗРУ, связанных с воздушными линиями, применяют аппараты, называемыми разрядниками. Кроме атмосферных перенапряжений в электроустановках возникают коммутационные перенапряжения. Коммутационные перенапряжения возникают в процессе коммутации электрических цепей с помощью выключателей. Кроме вышесказанного в электрических сетях с изолированной нейтралью возникают перенапряжения в результате замыкания одной из фаз на землю.

В сетях с воздушными линиями наибольшее число перенапряжений приходится на долю грозовых (80% случаев), перенапряжений от замыканий на землю гораздо меньше - около 10%, и менее всего коммутационных перенапряжений - примерно 5% случаев. В кабельных сетях на первом месте стоят перенапряжения от дуговых замыканий на землю (80% случаев), на втором месте - коммутационные перенапряжения (около 10%) и около

10% повреждений приходится на долю феррорезонансных перенапряжений, грозовые перенапряжения в кабельные сети практически не проникают.

Контрольные вопросы

1. Назначение разрядника и ОПН.
2. Конструкция нелинейного резистора.
3. Устройство вентильного разрядника.
4. Устройство ОПН.
5. Принцип действия вентильного разрядника.
6. Принцип действия ОПН.
7. Устройство и принцип действия мегомметра.
8. Конструкции искровых промежутков.
9. Назначение регистраторов срабатывания.
10. Нормы измерений сопротивления элементов РВ и ОПН.
11. Правила ТБ при измерении сопротивления элементов РВ и ОПН.
12. Порядок проведения испытания РВ и ОПН.

Раздел. Электрические машины переменного тока

Тема. Назначение принцип действия и область применения асинхронной машины

Расчет основных параметров асинхронных электродвигателей переменного тока.

Цель: Пробрести навыки расчета параметров трехфазных асинхронных электродвигателей переменного тока.

Студент должен *знать*:

- технические параметры трехфазных асинхронных электродвигателей переменного тока;

уметь:

- рассчитывать основные параметры трехфазных асинхронных электродвигателей переменного тока.

Теоретическое обоснование

Частота вращения магнитного поля статора n зависит от числа пар полюсов двигателя p , на которое сконструирована обмотка статора, и от частоты тока трехфазной системы f :

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (4.1)$$

Частота тока в цепи (промышленная частота) $f = 50$ Гц, тогда формула (4.1) примет вид

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p} \quad (4.2)$$

Частота вращения n_2 связана с частотой вращения n_1 характеристикой двигателя, которая называется скольжением s :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (4.3)$$

откуда

$$n_2 = n_1(1 - s) \quad (4.4)$$

скольжение s изменяется от 0,01 до 0,06 или от 1 до 6 %, возрастая с увеличением нагрузки двигателя. Поэтому частота вращения ротора n_2 , всегда меньше частоты вращения магнитного поля статора двигателя n_1 . С ростом нагрузки двигателя частота вращения n_2 немного уменьшается, что приводит к росту скольжения s . Из-за такого неравенства $n_2 < n_1$ двигатель называется асинхронным.

В таблице 4.1 приведены значения n_1 соответствующие числам пар полюсов p , определяемым конструкцией обмотки статора.

Момент вращения M , измеряемый в Н·м, определяется по формуле

$$M = 9550 \frac{P_{\text{ном}2}}{n_{\text{ном}2}} \quad (4.5)$$

где P_2 , кВт - полезная мощность на валу двигателя;

n_2 , об/мин - частота вращения ротора.

Полезная мощность на валу двигателя

$$P_{\text{ном}2} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi \eta \quad (4.6)$$

где $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ - линейные значения напряжения и тока;

η - КПД двигателя;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности двигателя.

Из формулы (4/6) получаем

$$I_{\text{л}} = \frac{P_{\text{ном}2}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi \eta} \quad (4.7)$$

КПД двигателя

$$\eta = P_2 / P_1 \quad (4.8)$$

откуда

$$P_1 = \frac{P_{\text{ном}2}}{\eta} \quad (4.9)$$

Таблица 4.1 - значения n_1 соответствующие числам пар полюсов p

p	1	2	3	4	5	6
n_1 , об/мин	3000	1500	1000	750	600	500

Ход работы

Задание содержит задачу на расчет трехфазного асинхронного двигателя. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

- 1) Произвести расчеты для задачи. Расчеты сопровождайте пояснениями.
- 2) Подготовить ответы на контрольные вопросы.
- 3) Оформить отчет по практической работе.

Задача

Трехфазный асинхронный двигатель работает в номинальном режиме и подключен к электрической сети с линейным напряжением $U_{л} = 380$ В. Известны число полюсов двигателей и некоторые данные режима работы: номинальная мощность $P_{2ном}$, скольжение $s_{ном}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$, коэффициент полезного действия $\eta_{ном}$. Частота сети $f = 50$ Гц.

Определить: частоту вращения магнитного поля статора n_1 и частоту вращения ротора $n_{2ном}$; ток двигателя $I_{1ном}$; номинальный момент вращения $M_{ном}$; активную мощность, потребляемую двигателем из сети, $P_{1ном}$. Данные для своего варианта взять из таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Исходные данные к задаче

№ варианта	Число пар полюсов двигателя $2p$	$P_{2ном}$, кВт	$s_{ном}$, %	$\cos\varphi_{ном}$	$\eta_{ном}$
1	6	45	4,4	0,89	0,92
2	6	75	4,4	0,88	0,93
3	6	37	4,4	0,87	0,94
4	6	55	4,4	0,89	0,93
5	6	20	4,4	0,88	0,93
6	6	30	4,4	0,89	0,94
7	6	75	4,4	0,90	0,95
8	6	35	4,4	0,91	0,93
9	6	55	4,4	0,88	0,93
10	8	37	2,0	0,84	0,90
11	8	45	2,0	0,85	0,91
12	8	110	2,0	0,85	0,90
13	10	20	1,5	0,92	0,80
14	10	75	3,5	0,89	0,92
15	10	45	2,5	0,92	0,94
16	10	75	1,5	0,89	0,92
17	10	20	2,5	0,80	0,93
18	10	30	1,2	0,88	0,94
19	10	37	2,5	0,91	0,95
20	10	55	1,5	0,93	0,94

Методические указания к решению задачи

- 1) Определите в соответствии с числом пар полюсов двигателя p синхронную частоту n_1 . Воспользуйтесь данными таблицы 2.1.
- 2) По известному скольжению $s_{ном}$ и частоте вращения магнитного поля статора n_1
- 3) рассчитайте номинальную частоту вращения ротора $n_{2ном}$. Формула (4).
- 4) По формуле (7) рассчитайте номинальный ток $I_{1ном}$, потребляемый двигателем из сети.
- 5) По формуле (9) рассчитайте активную мощность, потребляемую двигателем из сети, $P_{1ном}$.
- 6) По формуле (5) рассчитайте номинальный момент $M_{ном}$, развиваемый двигателем

при работе.

Контрольные вопросы

- 1) Объясните устройство и принцип действия асинхронного электродвигателя.
- 2) Каково соотношение между частотами вращающегося магнитного поля статора n_1 и ротора $n_{2ном}$?
- 3) Объясните, что называется скольжением асинхронного двигателя и как оно изменяется с увеличением тормозного момента.
- 4) Как можно рассчитать КПД асинхронного двигателя? Какие виды потерь существуют при работе асинхронного двигателя?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Решение задачи с пояснениями.
- 3) Ответы на контрольные вопросы.

Тема: Механические и рабочие характеристики асинхронного двигателя.

Номинальный, максимальный пусковой момент.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучить устройство и принцип работы трехфазного асинхронного двигателя.
2. Снять и построить механическую и рабочие характеристики.
3. Ознакомиться с особенностями пуска и реверсирования, а также с работой двигателя при обрыве фазы.

Указания к работе

Используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь с принципом работы, конструкцией и назначением основных частей трехфазного асинхронного короткозамкнутого двигателя. Обратите внимание на выполнение обмотки статора, создающей вращающееся магнитное поле. Уясните физические процессы, происходящие в короткозамкнутой обмотке ротора. Обратите внимание на особенности пуска асинхронного двигателя и на его рабочие свойства.

Асинхронным двигателем называется двигатель переменного тока, у которого скорость вращения ротора меньше скорости вращения магнитного поля и зависит от нагрузки на валу

Благодаря простоте конструкции, удобству эксплуатации и надежности асинхронный двигатель стал самым распространенным двигателем в промышленности.

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей:

- а) неподвижного статора;
- б) вращающегося ротора.

Сердечник статора и ротора, разделенные небольшим воздушным зазором ($0,3 \div 1,0$ мм), составляют магнитную цепь машины. Для уменьшения потерь на вихревые токи сердечники статора и ротора набираются из штампованных листов (рис. 1) электротехнической стали толщиной 0,5 мм, изолированных друг от друга слоем лака или окалины.

В пазы, расположенные на внутренней поверхности статора, укладывается трехфазная обмотка из изолированного медного провода. Каждая фаза обмотки занимает 1/3 пазов статора. Таким образом все три фазы А, В, С обмотки статора смещены в пространстве под углом 120° одна относительно другой (рис. 2). Обмотка соединяется по схеме “звезда” или “треугольник”.

При питании такой системы обмоток трехфазным переменным током в статоре создается вращающееся магнитное поле.

По устройству обмотки ротора асинхронные двигатели делятся на два типа:

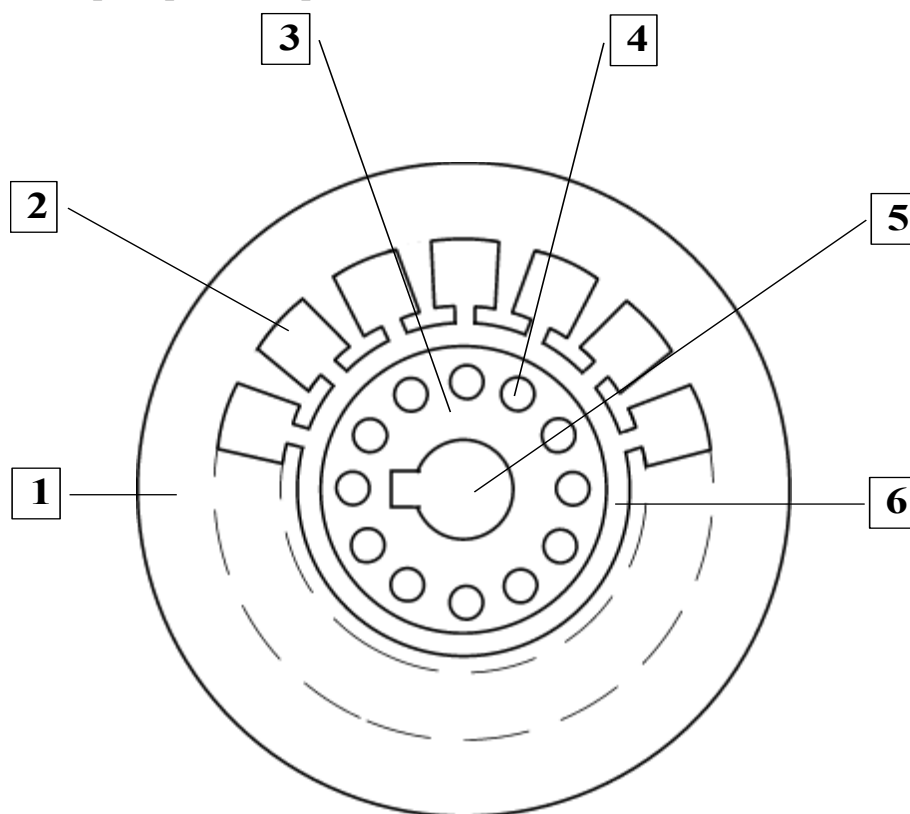


Рис. 1. Разрез сердечников статора и ротора

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| 1. Пластина статора. | 4. Паз ротора. |
| 2. Паз статора. | 5. Отверстие для насадки на вала |
| 3. Пластина статора. | 6. Воздушный зазор. |

а) двигатели с короткозамкнутым ротором;

б) двигатели с фазным ротором (с контактными кольцами).

Обмотка к. з. ротора выполняется из медных или алюминиевых стержней, запрессованных в пазы ротора. По торцам стержни привариваются к кольцам из того же материала. В целом обмотка образует приводящую металлическую клетку, напоминающую “беличье колесо” (рис. 3).

В настоящее время у всех двигателей мощность до 100 кВт “беличье колесо” делается из алюминия путем заливки под давлением в пазы ротора.

Одновременно со стержнями ротора отливаются боковые кольца и крыльчатка вентилятора.

Обмотка фазного ротора выполняется по типу трехфазной обмотки статора из изолированного медного провода и соединяется, как правило, в “звезду”.

Три свободных конца обмотки подключаются к трем латунным контактным кольцам, насаженным на вал двигателя. С помощью неподвижных щеток, наложенных на контактные кольца, в цепь ротора можно включить пусковой или регулировочный

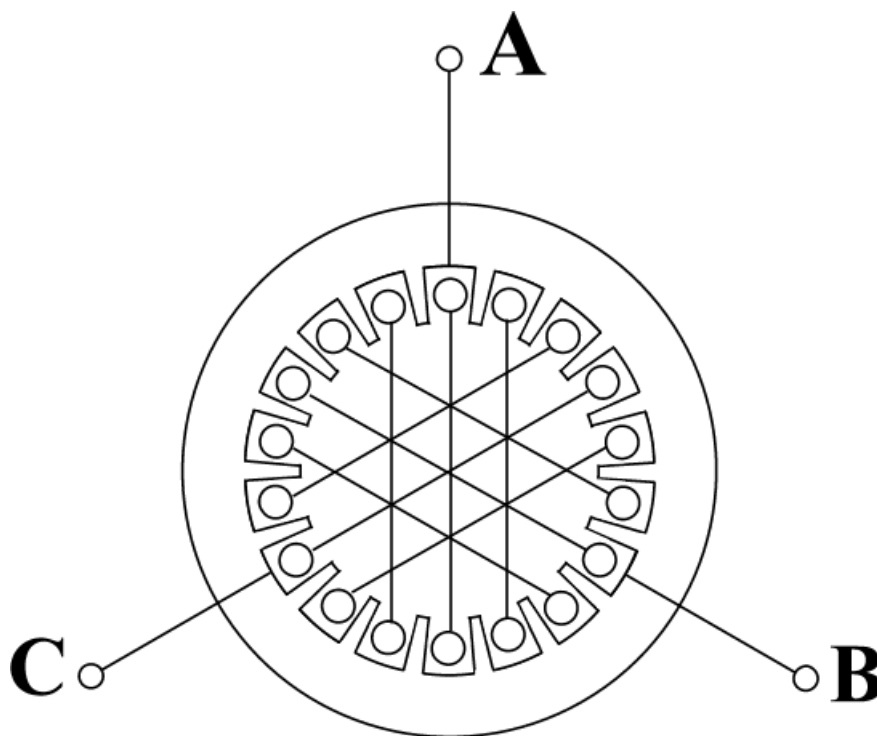


Рис. 2. Расположение фаз обмоток в сердечнике статора

резистор.

Принцип работы асинхронного двигателя не зависит от конструктивных особенностей ротора.

При включении статорной обмотки в трехфазную сеть создается вращающееся магнитное поле с неизменной амплитудой Φ_m .

Скорость вращения поля (синхронная скорость) n_0 определяется частотой тока сети f_1 и числом пар полюсов p обмотки статора:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p}. \quad (1)$$

При стандартной частоте $f_1 = 50$ Гц синхронная частота n_0 может принимать следующие значения:

- 3000 об/мин (если $p = 1$);
- 1500 об/мин (если $p = 2$);
- 1000 об/мин (если $p = 3$) и т.д.

Вращающееся магнитное поле индуцирует в обмотке ротора ЭДС E_2 :

$$E_2 = 4,44\omega_2 k_2 f_2 \Phi_m, \quad (2)$$

где ω_2 - число витков фазы роторной обмотки;

k_2 - обмоточный коэффициент, учитывающий распределение обмотки по окружности ротора (обычно $k_2 = 0,92 \div 0,95$);

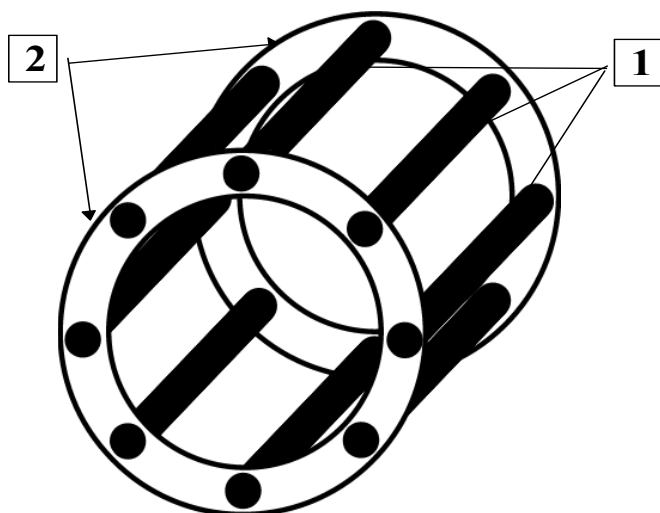
f_2 - частота ЭДС ротора;

Φ_m - магнитный поток на полюс.

Поскольку обмотка ротора замкнута, по ней течет ток I_2 . Согласно закону Ампера, ток ротора будет взаимодействовать с вращающимся магнитным полем статора. Возникает вращающийся момент, под действием которого ротор начнет вращаться в сторону вращения магнитного поля. Скорость ротора n всегда несколько меньше скорости поля статора n_0 . Отношение разности скоростей n_0 и n к синхронной скорости n_0 называется скольжением:

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}. \quad (3)$$

Скольжение S_H , соответствующее номинальной нагрузке двигателя, составляет $0,02 \div 0,08$.



1. Стержни обмотки ротора типа “беличье колесо”.

2. Замыкающие торцевые кольца.

Рис. 3. Обмотка ротора типа “беличье колесо”

Момент, развиваемый двигателем, определяется следующим выражением:

$$M = C \Phi_m I_2 \cos \psi_2, \quad (4)$$

где C - постоянный коэффициент, зависящий от конструкции двигателя;
 ψ_2 - угол сдвига между ЭДС E_2 и током ротора I_2 .

Магнитный поток Φ_m пропорционален напряжению сети U_1 и при различных режимах работы двигателя практически не изменяется. Следовательно, величина момента определяется только активной составляющей тока ротора $I_{2a} = I_2 \cos \psi_2$. Ток ротора I_2 и $\cos \psi_2$ зависят от скольжения двигателя:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + (x_{2S})^2}}, \quad (5)$$

$$\cos \psi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (x_{2S})^2}}, \quad (6)$$

где r_2 - активное сопротивление фазы ротора;
 x_{2S} - индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора (при частоте f_2).

С увеличением скольжения S от 0 (идеальный холостой ход) до 1 (пусковой режим) ток ротора увеличивается, а $\cos \psi_2$ уменьшается, поэтому зависимость момента от скольжения имеет сложную форму. Эта зависимость $M = F(S)$ называется механической характеристикой (рис. 4).

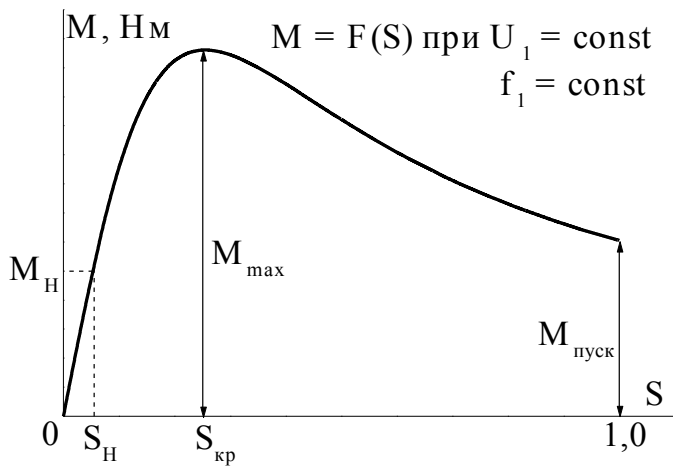


Рис. 4. Характеристика момент-скольжение

механической характеристики может происходить только разгон двигателя. Отношение максимального момента к номинальному называется перегрузочной способностью двигателя λ_m (лямбда-м):

$$\lambda_m = \frac{M_{\max}}{M_H} \quad (6)$$

Обычно $\lambda_m = 1,8 \div 2,8$.

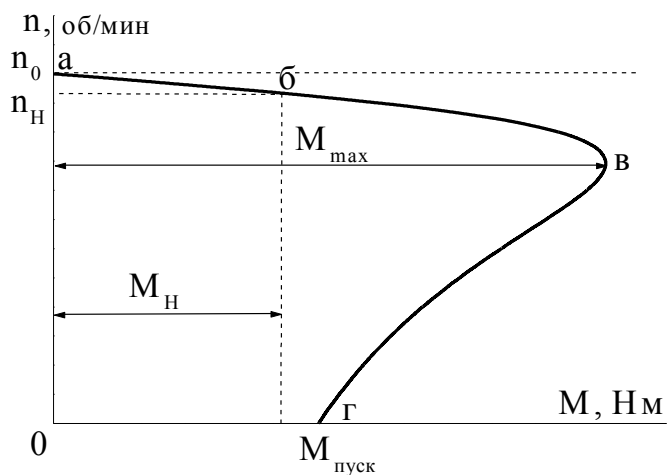


Рис. 5. Механическая характеристика

значительным броском тока, превышающим в 4-7 раз номинальный ток двигателя. Толчок тока обусловлен тем, что при пуске неподвижные проводники роторной обмотки пересекаются вращающимся магнитным полем с максимальной скоростью и ЭДС ротора будет наибольшей.

Реверсирование двигателя. Изменение направления вращения ротора (реверс) асинхронного двигателя осуществляется сменой порядка следования фаз. Для этого необходимо поменять два любых провода на зажимах статорной обмотки.

На практике чаще используют другой вид механической характеристики (рис. 5): зависимость скорости вращения двигателя от момента на валу $n = F(M)$. Пересчет механической характеристики из одного вида в другой производится на основании выражения $n = n_0(1 - S)$.

Участок “ав” (рис. 5) определяет зону устойчивой работы двигателя. На любой точке этого участка двигатель может работать с установившейся скоростью.

На неустойчивой части “вг”

Эксплуатационные свойства асинхронного двигателя определяются его рабочими характеристиками. Рабочими характеристиками называют зависимости скорости n , тока статора I_1 , момента M , потребляемой мощности P_1 , коэффициента полезного действия $\eta\%$, коэффициента мощности $\cos\varphi_1$ и скольжения S от полезной мощности P_2 на валу двигателя (рис. 6).

Пуск двигателя. Наиболее простым и распространенным способом пуска асинхронных двигателей является прямое включение в сеть. Однако такое включение сопровождается

Рабочие характеристики

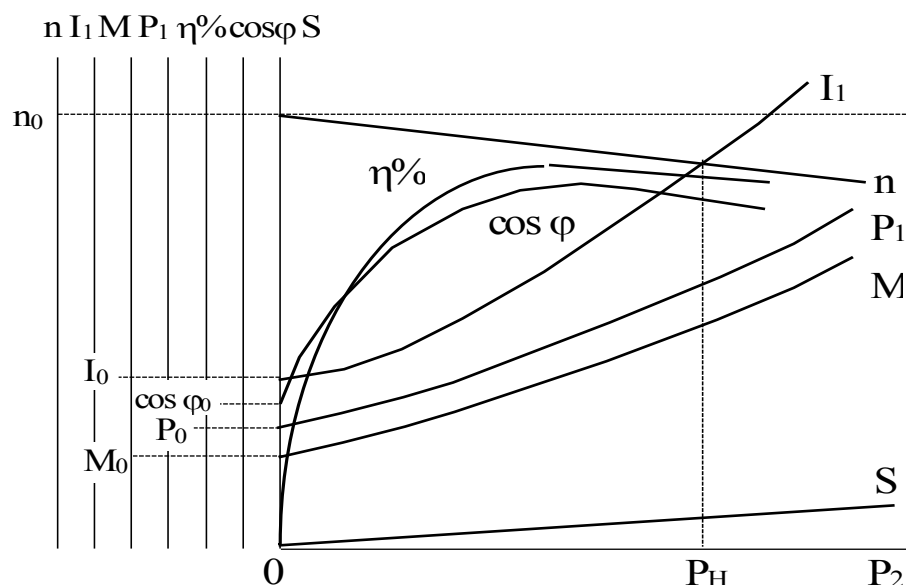


Рис. 6. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Достоинства асинхронных к.з. двигателей:

- исключительная простота устройства и, как следствие этого, низкая стоимость;
- простота и удобство эксплуатации, обусловленные отсутствием трущихся токоведущих частей;
- жесткость рабочего участка механической характеристики;
- простота пуска двигателей небольшой мощности.

Недостатки:

- * сложность и неэкономичность регулирования скорости;
- * малый пусковой момент;
- * чувствительность к колебаниям напряжения в сети;
- * низкий коэффициент мощности, особенно при малых нагрузках двигателя.

Рабочее задание

Подготовьте лабораторную установку для снятия рабочих характеристик асинхронного к.з. двигателя. Схема установки приведена на рис. 7.

Обозначения на схеме:

- АД — испытуемый асинхронный к.з. двигатель;
- $\left. \begin{array}{l} C1, C2, C3 \\ C4, C5, C6 \end{array} \right\}$ — выводы обмотки статора;
- Г — генератор постоянного тока. Служит нагрузкой асинхронного двигателя;
- ОВГ — обмотка возбуждения генератора;
- R_H — нагрузочные резисторы;
- $T1 \div T9$ — тумблеры нагрузочных резисторов;
- V — вольтметр щитовой Э 377 (Э 365), 250 В. Измеряет линейное напряжение, подводимое к асинхронному двигателю;

- A_C — амперметр щитовой Э 377 (Э 365), 5 А. Измеряет линейный ток статорной обмотки АД, I_1 ;
 W — ваттметр переносной Д 50042. Измеряет активную мощность P_1 , потребляемую АД. Пределы: 150 В; 2,5 А; 5 А;
 A_G — амперметр переносной Э 514 (Э 526), 5 А. Измеряет ток нагрузки генератора, I_G ;
 A_B — амперметр переносной Э 513 (Э 525), 0,5 А; 1 А. Измеряет ток обмотки возбуждения генератора;
 Об/мин. — измеритель скорости вращения АД;
 S_1 — тумблер включения измерителя скорости;
 S_2 — тумблер для обрыва фазы АД;
 A }
 B } — клеммы 4-х проводной трехфазной питающей сети. Расположены на панели питания в правой части стенда;
 C }
 0 }
 0 ± 250 В — клеммы источника регулируемого напряжения постоянного тока для подключения обмотки возбуждения генератора. Расположены на панели питания в правой части стенда.

Ознакомьтесь с оборудованием стенда. Выпишите паспортные данные асинхронного двигателя типа 4АМА71А2УЗ:

- U_H — номинальное напряжение при соединении обмоток статора по схеме “треугольник” и “звезда” в В;
 P_H — номинальная мощность на валу в кВт;
 I_H — номинальный ток статора (линейный) в А;
 n_H — номинальная частота вращения в об/мин;
 η_H — номинальный К.П.Д. в %;

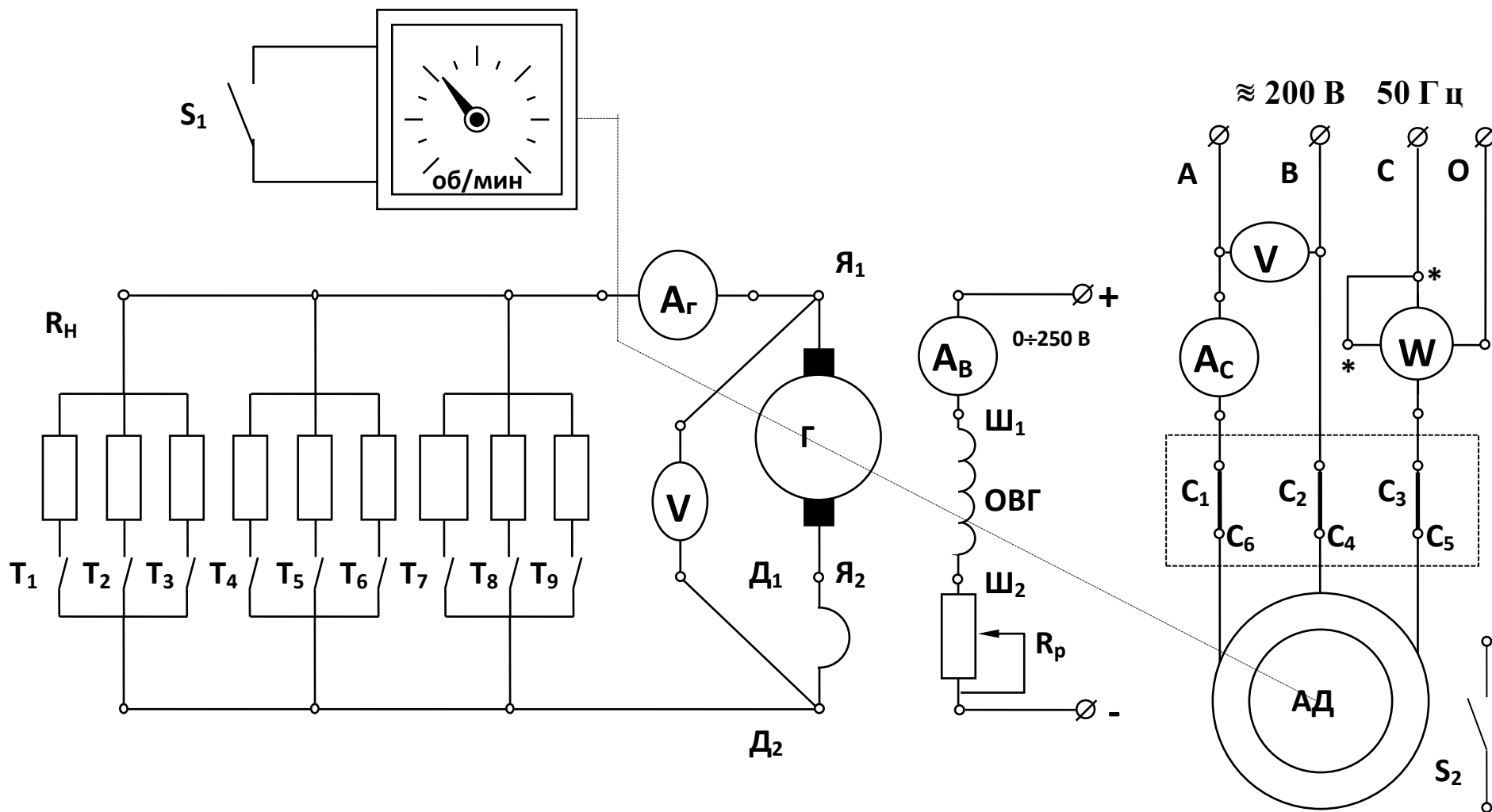
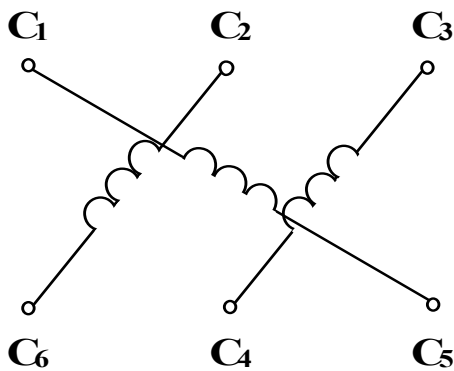
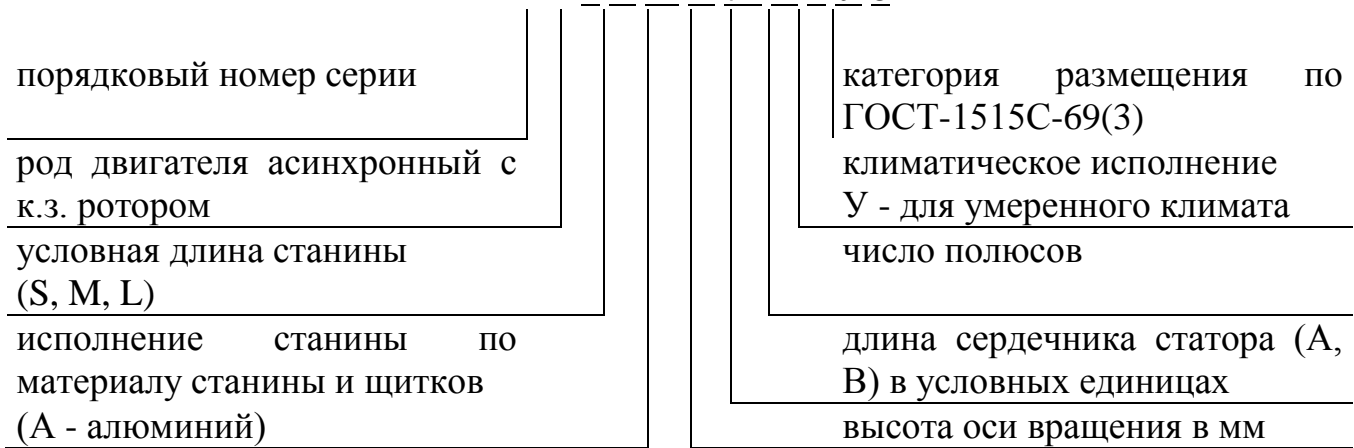


Рис. 7. Схема лабораторной установки

- $\cos \varphi_H$ — номинальный коэффициент мощности;
- f_1 — частота питающего напряжения сети в Гц;
- № — заводской номер.

Структура обозначения типа двигателя

4 А М А 71 А 2 У 3



Следует обратить внимание на подключение концов статорной обмотки на клеммной панели (рис. 8).

Такое расположение выводов позволяет осуществлять соединение обмотки по схеме “звезда” и “треугольник” простой установкой перемычек, как показано на рис. 9.

Рис. 8

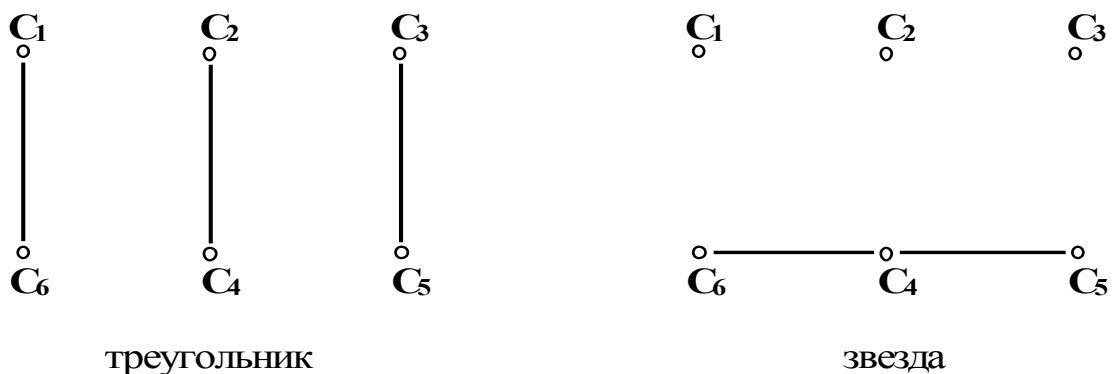


Рис. 9. Способы соединения выводов обмотки статора на клеммной панели двигателя

Ознакомьтесь с техническими характеристиками нагрузочного генератора, которым служит машина постоянного тока типа 2ПН90МУХЛ4. Внесите в таблицу 1 основные сведения об электроизмерительных приборах.

Таблица 1

Наименование и марка прибора	Система измерения	Класс точности прибора	Диапазон измерения прибора

Соберите схему на рис. 7 и предъявите для проверки преподавателю.

ОПЫТ 1. Снятие рабочих характеристик

n ; I_1 ; M ; P_1 ; $\eta\%$; $\cos \varphi_1$; $S = F(P_2)$ при $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$

Отключите нагрузочные резисторы R_H тумблерами $T1 \div T9$.

Включите тумблер S_1 измерителя частоты вращения.

Включите автомат АП, расположенный в правой части на панели питания. При этом загорится сигнальная лампа.

Подайте напряжение на обмотку возбуждения генератора ОВГ от источника постоянного тока ± 250 В. Для этого нажмите левую кнопку “Пуск” на панели питания. (Загорится вторая сигнальная лампа). Установите на амперметре A_B ток 0,3 А или 0,18 А. (Ток указан на панели стенда).

Осуществите пуск асинхронного двигателя АД. Для этого нажмите правую кнопку “Пуск” на панели питания. Одновременно с пуском двигателя загорается третья сигнальная лампа.

Запишите показания всех приборов при работе двигателя на холостом ходе (без нагрузки) в таблицу 2.

Таблица 2

Опыт						Расчет					
№	U_1 , В	I_C , А	W , Вт	n , об/мин	I_T , А	P_1 , Вт	M , Нм	P_2 , Вт	η , %	$\cos \varphi_1$	S
1											
...											
10											

7. Дальнейшее снятие рабочих характеристик производится путем включения резисторов R_H в цепи генератора Г. Постепенно увеличивая нагрузку двигателя тумблерами $T1 \div T9$, записывайте показания приборов в таблицу 2.

8. Остановите двигатель АД и обесточьте обмотку возбуждения ОВГ. Для этого нажмите красные кнопки “Стоп” на панели питания. Отключите стенд автоматом АП. При этом должны погаснуть все три сигнальные лампы. Отключите тумблеры $T1 \div T9$. Во время остановки двигателя отметьте его направление вращения.

ОПЫТ 2. Реверсирование двигателя

1. Поменяйте местами два любых провода, соединяющих клеммы трехфазной сети АВС со статорной обмоткой двигателя.

2. Пустите двигатель в ход, а затем остановите его. Убедитесь, что направление вращения изменилось на обратное.

3. Отключите автомат АП.

ОПЫТ 3. Обрыв фазы

Подключите линейный провод С к статорной обмотке двигателя через тумблер S_2 .

Отключите тумблер S_2 и убедитесь, что пуск двигателя при оборванной фазе из неподвижного состояния невозможен. Обратите внимания на возросший ток статорной обмотки. (Во избежание повреждения двигателя продолжительность опыта не должна превышать нескольких секунд).

Включите тумблер S_2 и после разгона двигателя запишите частоту вращения и величину тока статора. Затем отключите фазу С тумблером S_2 и сравните результаты измерений. Убедитесь, что двигатель продолжает вращаться почти с прежней скоростью. Однако, ток в оставшихся фазах возрастает. Результаты измерений приведите в отчете. Объясните указанные явления.

Обработка результатов измерений и расчетные формулы

Потребляемая активная мощность двигателя:

$$P_1 = 3W \text{ [Вт]} \quad (8)$$

где W [Вт] - показание ваттметра.

Момент M [Нм] на валу асинхронного двигателя определяется косвенным путем в зависимости от тока нагрузочного генератора I_G по градуировочной кривой $M = F(I_G)$ (рис. 10).

Мощность на валу P_2 :

$$P_2 = \frac{Mn}{9,55} \text{ [Вт]} \quad (9)$$

К.П.Д. двигателя, %:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100, \% \quad (10)$$

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1I_1} \quad (11)$$

Скольжение S определяется по формуле (3).

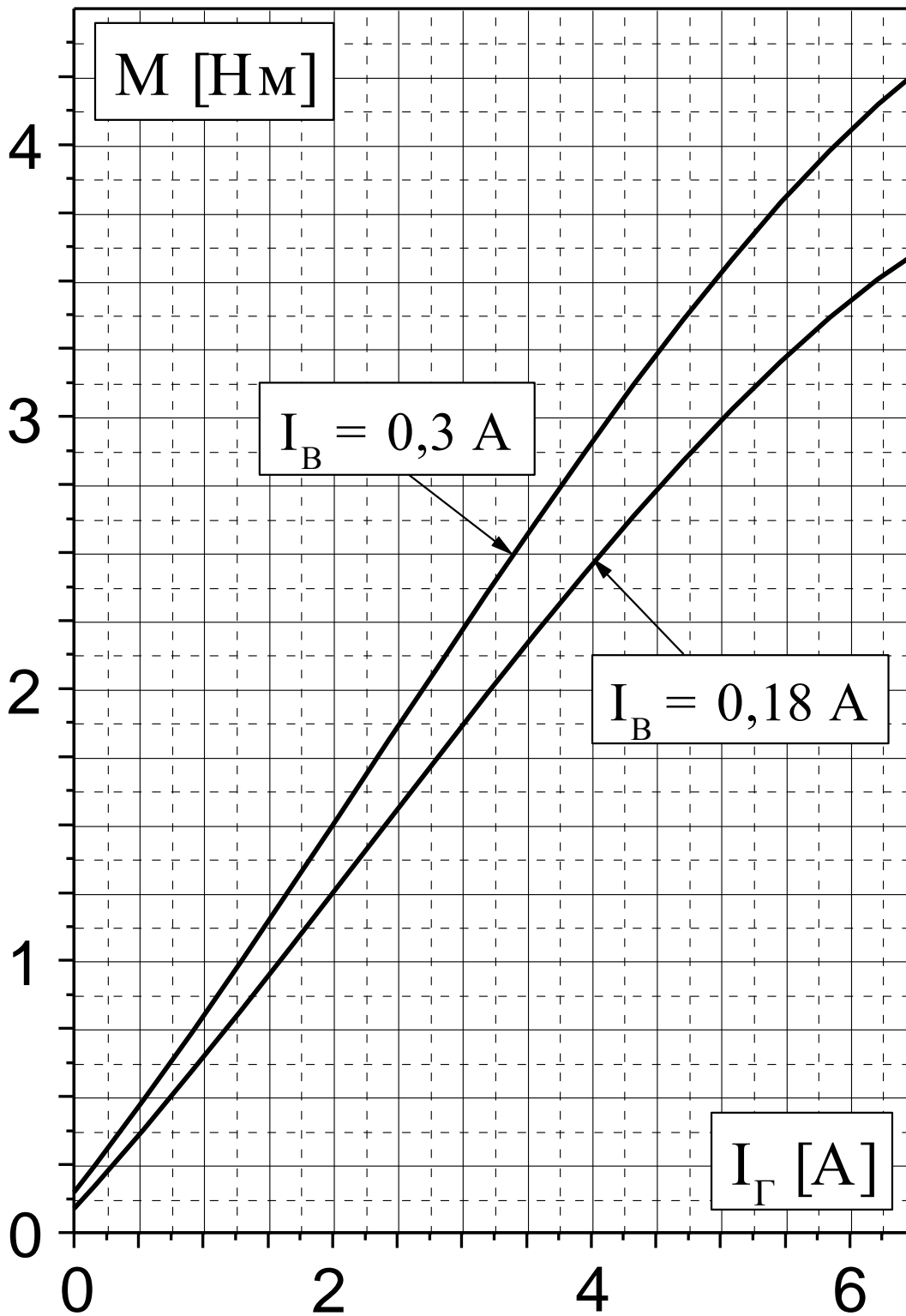


Рис. 10. Градуировочные кривые $M = F(I_\Gamma)$

По данным таблицы 2 постройте рабочие характеристики (рис. 6).

Рассчитайте и постройте механическую характеристику $n = F(M)$ по паспортным данным двигателя.

Формулы расчета:

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}}. \quad (12)$$

Критическое скольжение $S_{\text{кр}}$:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{H}} \left(\lambda_{\text{m}} + \sqrt{\lambda_{\text{m}}^2 - 1} \right). \quad (13)$$

Номинальное скольжение:

$$S_{\text{H}} = \frac{n_0 - n_{\text{H}}}{n_0}. \quad (14)$$

Номинальный момент на валу:

$$M_{\text{H}} = 9550 \frac{P_{\text{H}}}{n_{\text{H}}}, \quad (15)$$

где P_{H} в [кВт] и n_{H} в [об/мин] указаны в паспорте двигателя.

Максимальный момент M_{\max} :

$$M_{\max} = \lambda_{\text{m}} M_{\text{H}}. \quad (16)$$

(значение $\lambda_{\text{m}} = 1,8 \div 2,8$ указывается преподавателем).

Задаваясь различным значением скольжения S от 0 до 1, вычислите 8-10 точек механической характеристики по формуле (12).

Частоту вращения определите по выражению

$$n = n_0(1 - S). \quad (17)$$

Результаты расчета занесите в таблицу 3. По данным таблицы 3 постройте механическую характеристику двигателя. На этом же графике постройте рабочий участок механической характеристики, полученный экспериментальным путем (из таблицу 2). Сравните обе характеристики и оцените расхождение.

Таблица 3

S	0	S_{H}	$S_{\text{кр}}$	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0
M [Нм]									
n [об/мин]									

7. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Технические данные оборудования и электроизмерительных приборов.
3. Схема экспериментальной установки.
4. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
5. Расчетные формулы.
6. Рабочие характеристики.
7. Механические характеристики, полученные опытным и расчетным путем.
8. Заключение:

- * о пригодности двигателя к работе;
- * о реверсировании;
- * о работе при обрыве фазы.

7. Контрольные вопросы

1. На чем основан принцип действия работы асинхронного двигателя?
2. Какова конструкция асинхронного двигателя?
3. Как определяются синхронная скорость, скольжение и момент двигателя?
4. От каких величин зависит электромагнитный момент двигателя?
5. Какие потери возникают при работе двигателя?
6. Как определяется К.П.Д.?
7. От чего зависит коэффициент мощности асинхронного двигателя и как его определить?
8. Какой вид имеют рабочие характеристики асинхронного двигателя?
9. Чем объяснить бросок пускового тока?
10. Какой вид имеют рабочие характеристики асинхронного двигателя?
11. Как рассчитать механическую характеристику по паспортным данным?
12. Как ведет себя двигатель при обрыве фазы?
13. Какими достоинствами обладает асинхронный к.з. двигатель?
14. Каковы недостатки асинхронных двигателей?
15. Где используются асинхронные двигатели?

Техника безопасности

Приступая к выполнению лабораторной работы, следует помнить об опасности поражения электрическим током и быть внимательным и осторожным.

Перед сборкой схемы убедиться, что напряжение на стенде отсутствует (красная кнопка у автомата АП утоплена, сигнальные лампы не светятся).

Не допускается использование неисправных приборов и проводов с поврежденной изоляцией.

Наконечники проводов должны быть надежно закреплены клеммами. Особенно в тех случаях, когда под клеммой находятся два или три наконечника.

Собранную схему необходимо предъявить для проверки преподавателю или лаборанту. Включение схемы без проверки категорически запрещается.

Если в ходе работы возникает необходимость в изменении схемы, то все изменения производятся только при снятом напряжении. Повторное включение схемы допускается только после проверки преподавателем или лаборантом.

Несмотря на ограждение вращающихся частей электрических машин, следует соблюдать осторожность, т.к. даже гладкие валы способны захватывать волосы, косынки, развевающиеся части одежды.

Не касаться оголенных клемм, проводов и токоведущих частей оборудования, находящихся под напряжением.

В случае опасности отключить стенд нажатием на красную кнопку автомата АП в правой части стенда.

Тема: Критическое скольжение и перегрузочная способность. Потери и коэффициент полезного действия асинхронной машины.

Цель работы: Ознакомиться с особенностями пуска и реверсирования, а также с работой двигателя при обрыве фазы.

Ход работы:

1. Экспериментальная часть

1.1. Осуществить пуск асинхронного двигателя с контактными кольцами с использованием пускового реостата в цепи ротора.

1.2. Провести три опыта нагрузки двигателя* и снять зависимости $n_1, I_1, P_1 = f(M)$, ($0.2M_H < M < M_H$)

при коэффициенте регулирования напряжения $k_u = 0.7; 0.9; 1,1$
($k_u = U_1 / U_{1н}$)

* Пункт 1.2 может выполняться на стенде асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором; в этом случае пуск двигателя по п.1.1. осуществляется переключением обмотки статора со звезды на треугольник

1.3. При номинальной нагрузке M_H и номинальном питающем напряжении записать показания n_2, I_1, P_1 . Провести опыт нагрузки при несимметричном напряжении питания обмоток статора и снять зависимости

$n_1, I_1, P_1 = f(M)$, ($0.2M_H < M < M_H$)

Нагрузить асинхронный двигатель до значения критического момента и зафиксировать критическое скольжение $s_{кр}$ *

*Здесь, а также в п.2.2. изменение $M_{кр}, s_{кр}$ осуществляется при наличии амперметров с соответствующими пределами измерений - около трехкратных от номинального тока.

1.4. Осуществить пуск в ход асинхронного двигателя при номинальном напряжении питания статора и оборванной одной фазе ротора: первоначально с выведенным пусковым реостатом, затем с полностью введенным пусковым реостатом.

1.5. Снять зависимости частоты биения тока статора от момента нагрузки на валу двигателя $(f_1 - f_3) = f(M)$ в режиме, соответствующем п. 1.4.

1.6. Провести опыт нагрузки синхронизированного асинхронного двигателя при однофазном питании обмотки статора и включенными в цепь ротора выпрямителями и снять зависимости $I_1, I_2, p_1 = f(M)$ при $U_1 = U_{1н}$ ($k_u = 1$) и $s = 0$

2. Обработка результатов эксперимента

2.1. По опытным данным п.1.2. рассчитать и построить зависимости

$I_1, P_1, P_2, s, \cos \varphi, \eta = f(M)$

при трех значениях k_u .

Провести графический анализ полученных характеристик, найти значения максимумов КПД и $\cos \varphi$.

Построить характеристики регулирования напряжения при максимальном КПД и максимальном $\cos \varphi$ **

** При построении зависимостей $r_u = f(M)$ в качестве четвертой точки могут быть использованы номинальные данные двигателя при $k_u = 1$.

2.2. По опытным данным первой части п. 1.3 определить номинальные значения КПД, $\cos \varphi$ и скольжение асинхронного двигателя. Определить кратность максимального момента двигателя k_m . В соответствии со второй частью п.1.3 построить зависимости

$$I_1, P_1, P_2, s, \cos \varphi, \eta = f(M)$$

Определить кратность максимального момента двигателя при несимметричном напряжении питания.

2.3. В соответствии с п. 1.5 по частоте биения тока статора при $M = 0,2 M_n$ определить скольжение ротора.

2.4. По опытным данным п. 1.6 построить рабочие (электромеханические) характеристики синхронизированного асинхронного двигателя.

$$M, I_1, I_2, P_1, \cos \varphi, \eta = f(M)$$

при $U_1 = U_{1n} (k_u = 1)$

3. По результатам исследования

3.1. На основании рабочих характеристик, полученных в п. 2.1, объяснить влияние изменения напряжения U_1 и момента на ток статора I_1 , $\cos \varphi$ и КПД двигателя при различных нагрузках на валу.

3.2. Провести краткий анализ максимальных значений КПД и $\cos \varphi$ при изменении напряжения и момента.

3.3. На базе рабочих характеристик, полученных в п.2.2, объяснить влияние не симметрии питающего напряжения на ток I_1 , $\cos \varphi$ и КПД двигателя.

3.4. Сравнить значения кратностей максимального момента двигателя при номинальном напряжении и несимметричном напряжении питания. Объяснить различие.

3.5. Оценить точность определения скольжения ротора по частоте биения тока статора при не симметрии цепи ротора.

3.6. Сравнить энергетические показатели асинхронного двигателя при симметричном напряжении питания и синхронизированного асинхронного двигателя. Оценить перегрузочную способность машины в рассматриваемых случаях.

Контрольные вопросы;

1. Объяснить устройство и принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Чем определяется частота вращения магнитного поля статора, и почему ее называют синхронной?
3. Что такое скольжение? Как оно определяется?
4. Как изменяются скольжение и частота вращения ротора двигателя при изменении нагрузки на валу?
5. Перечислить способы пуска трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
6. Какими основными характеристиками оцениваются пусковые свойства двигателей?
7. Чем плох пуск двигателя прямым включением в сеть?
8. Как изменяется момент асинхронного двигателя с изменением напряжения подаваемого на статор?
9. Что такое механическая характеристика двигателя? Какой характеристикой обладает асинхронный двигатель?

Тема: Влияние напряжения сети и активного сопротивления в цепи ротора на электромагнитный момент и механическую характеристику асинхронного двигателя.

Цель работы: Ознакомиться с влиянием напряжения сети и активного сопротивления в цепи ротора на электромагнитный момент и механическую характеристику асинхронного двигателя.

Ход работы: Изучить материал составить опорный конспект ответить на контрольные вопросы

Теоретическая часть; в нормальных асинхронных машинах, мощность которых выше нескольких киловатт $C_1 = 1,02 \div 1,06$, поэтому для инженерных расчетов принимают $C_1 = 1$. К тому же в силу того, что сопротивление Z_1 во много раз меньше сопротивления Z_M , то пользуются упрощенной Г-образной схемой замещения, приведенной на рис. 9.1.

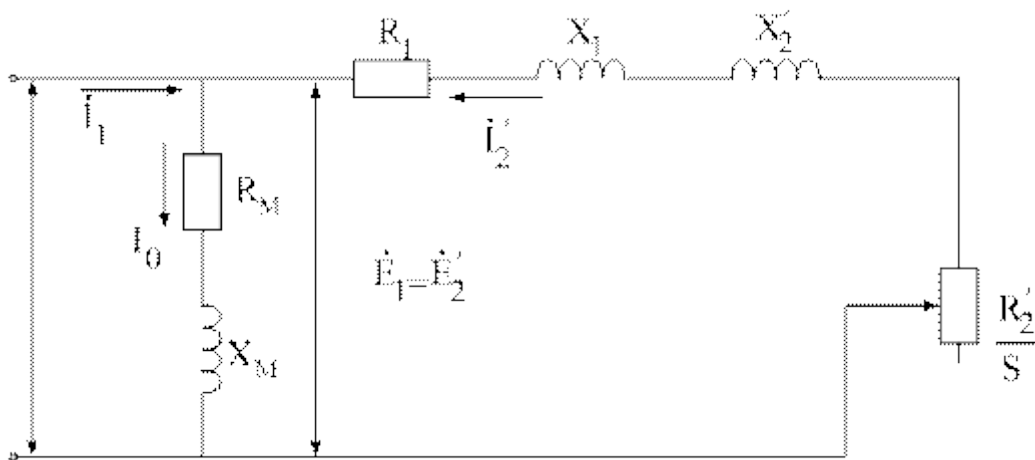


Рис. 9.1. Упрощенная Г-образная схема замещения приведенного асинхронного двигателя

Значение приведенного тока в обмотке ротора I_2' согласно схеме (рис. 9.1):

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}}, \quad (9.1)$$

где $\frac{R_2'}{S} = R_2' + R_{2\text{доб}}' = R_2' + R_2' \frac{1-S}{S}$, $X_1 + X_2' = X_K$ – индуктивное сопротивление обмотки ротора в режиме к.з. (пуск двигателя).

Под механической характеристикой понимают зависимость угловой скорости ω и электромагнитного момента M , развиваемого двигателем, $\omega = f(M)$; но учитывая, что угловая скорость ω находится в прямой зависимости с частотой вращения n , об/мин,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \text{constn}, \quad (9.2)$$

то для электрических машин механическую характеристику часто выполняют в виде $n = f(M)$. В асинхронном двигателе переменной величиной является скольжение S , которое также характеризует скорость вращения ротора

$$n = n_0(1 - S) \quad \text{или} \quad \omega = \omega_0(1 - S), \quad (9.3)$$

поэтому для асинхронного двигателя механическую характеристику применяют в виде $M = f(S)$.

Электрические потери мощности в обмотке ротора асинхронного двигателя через механические параметры

$$P_{\text{э2}} = P_{\text{эм}} S = M \omega_0 S, \quad (9.4)$$

где $P_{\text{эм}}$ – электромагнитная мощность, передаваемая через воздушный зазор от статора к ротору; ω_0 – синхронная угловая частота вращающегося магнитного поля.

А электрические потери мощности $P_{\text{э2}}$ через электрические параметры ротора

$$P_{\text{э2}} = m_2 I_2'^2 R_2', \quad (9.5)$$

Если же параметры ротора приведены к параметрам статора, то

$$P_{\text{э2}} = m_1 (I_2')^2 R_2', \quad (9.5a)$$

Приравняем (9.4) и (9.5a)

$$M \omega_0 S = m_1 (I_2')^2 R_2', \quad (9.6)$$

где m_2 и m_1 – соответственно число фаз обмоток ротора и статора.

Из равенства (9.6) выразим величину электромагнитного момента

$$M = \frac{m_1 (I_2')^2 R_2'}{\omega_0 S}. \quad (9.7)$$

В выражение момента (9.7) подставим значения тока ротора согласно (9.1), тогда

$$M = \frac{m_1 U_1^2 R_2'}{\omega_0 S [(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + X_K^2]} \quad (9.8)$$

или

$$M = \frac{m_1 U_1^2 \frac{R_2'}{S}}{\omega_0 [(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + X_K^2]}. \quad (9.9)$$

Из формулы (9.9) следует, что электромагнитный момент асинхронной машины пропорционален квадрату действующего значения напряжения на фазе обмотки статора. Следовательно, даже умеренное изменение напряжения сети сопровождается существенным изменением электромагнитного момента.

Задаваясь значениями скольжения от ($S = +\infty$) до ($S = -\infty$) получим зависимость $M = f(S)$ для всех режимов работы асинхронной машины: генераторного ($-\infty < S < 0$), двигательного ($0 < S \leq 1$), и режима электромагнитного тормоза ($1 < S < +\infty$) (рис. 9.2).

Механическая характеристика асинхронной машины имеет наибольшее значение для оценки её свойств.

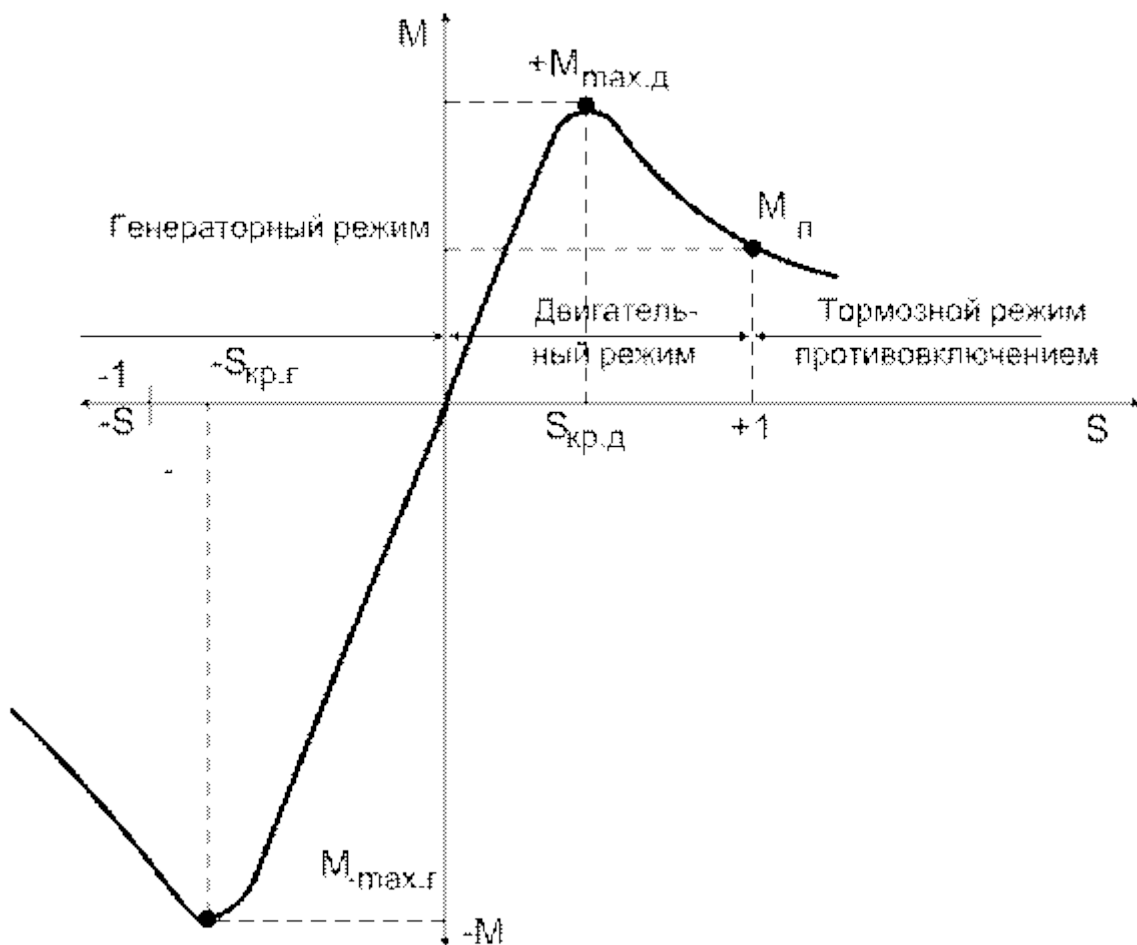


Рис. 9.2. Зависимость режимов работы асинхронной машины от скольжения

9.2. Максимальный электромагнитный момент асинхронного двигателя

Кривая зависимости электромагнитного момента от скольжения для двигательного режима, построенная в соответствии с формулой (9.9) изображена на рис. 9.3. Эта кривая имеет явно выраженный максимум. Взяв первую производную dM/dS и приравняв ее к нулю определим скольжение $S = S_{кр}$, при котором асинхронный двигатель развивает максимальный момент M_{max} :

$$S_{кр} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} \quad (9.10)$$

Это значение скольжения называют критическим скольжением.

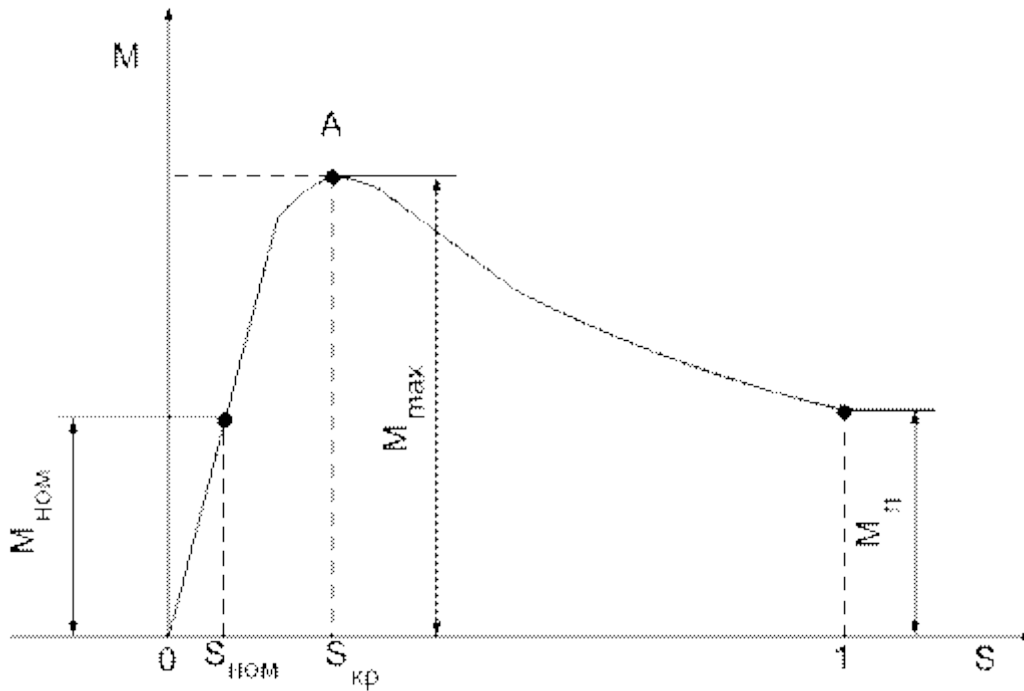


Рис. 9.3. Зависимость электромагнитного момента двигателя от скольжения

9.3. Влияние активного сопротивления обмотки ротора на механическую характеристику асинхронного двигателя

Из выражения (9.10) следует, что скольжение, при котором асинхронная машина развивает максимальный электромагнитный момент, пропорционально активному сопротивлению фазы обмотки ротора. То есть, чем больше активное сопротивление фазы обмотки ротора, тем больше $S_{кр}$, но тем ниже критическая скорость его вращения (рис. 9.4).

$$n_{кр} = n_0(1 - S_{кр}) \quad (9.11)$$

Обычно для практических расчетов пренебрегают активным сопротивлением обмотки статора R_1 из-за его малости по сравнению с суммарным индуктивным сопротивлением $X_k = X_1 + X_2'$ и тогда формула (9.10) принимает простой и удобный для расчета вид:

$$S_{кр} = \frac{R_2'}{X_k^2} \quad (9.12)$$

Подставив в формулу момента (9.9) величину скольжения $S_{кр}$, из (9.10) получим выражение для максимального электромагнитного момента асинхронного двигателя.

$$M_{max} = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_0 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})} \quad (9.13)$$

Формула (9.13) свидетельствует о том, что максимальный электромагнитный момент не зависит от активного сопротивления цепи ротора (рис. 9.4).

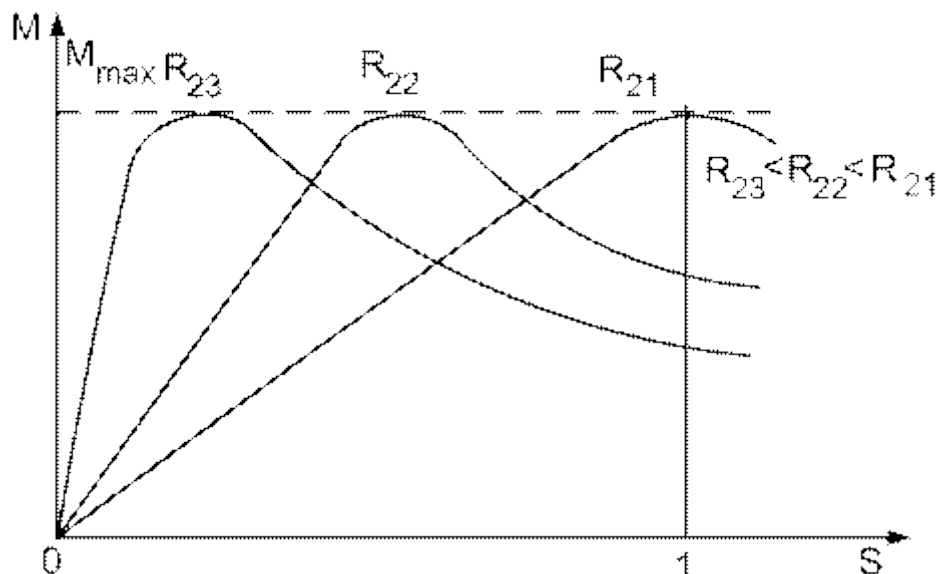


Рис. 9.4. Зависимость механической характеристики от величины активного сопротивления в цепи ротора

Модифицировав формулу (9.9), [1] получили удобную для расчетов формулу Клосса (9.14)

$$M = \frac{(2 + a s_{кр}) M_{max}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + a s_{кр}}, \quad (9.14)$$

где $a = R_1/R'_2$. Если в числителе и знаменателе формулы (9.14) пренебречь числом $a s_{кр}$ ввиду его малости, то получим простое соотношение

$$M = \frac{2 M_{max}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}. \quad (9.15)$$

Чтобы работа асинхронного двигателя была надежной, и чтобы случайные кратковременные перегрузки не вызывали остановок двигателя, необходимо, чтобы он обладал перегрузочной способностью. Перегрузочная способность двигателя определяется отношением максимального момента M_{max} к номинальному $M_{ном}$. Для асинхронного двигателя общего назначения перегрузочная способность составляет $M_{max}/M_{ном} = 1,7 \div 2,5$.

9.4. Асинхронные короткозамкнутые двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками

Стремление улучшить пусковые свойства асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором привело к созданию асинхронных двигателей с особой конструкцией ротора:

- двигатель с двумя короткозамкнутыми клетками на роторе;

– двигатель с глубокими пазами на роторе.

Для улучшения пусковых свойств необходимо увеличивать сопротивление ротора при пуске и уменьшать при рабочих режимах.

9.4.1. Двигатель с двумя клетками

Такой двигатель имеет пусковую короткозамкнутую обмотку 1 и рабочую 2 обмотку (рис. 9.5) [3].

Стержни пусковой клетки выполняют из латуни или бронзы – материалов, обладающих большим чем у меди активным сопротивлением. Рабочая обмотка 2 выполняется из меди, стержни её располагаются в нижнем слое и имеют большее сечение, чем у пусковой. Это обеспечивает рабочей клетке малое активное сопротивление, т. е. $R_1 \gg R_2$. Но индуктивное сопротивление рабочей клетки больше, чем у пусковой, особенно в начальный период пуска, когда частота тока в роторе $f_2 \approx f_1$ и так как она сцеплена с большим числом магнитных силовых линий поля рассеяния, $X_1 < X_2$.

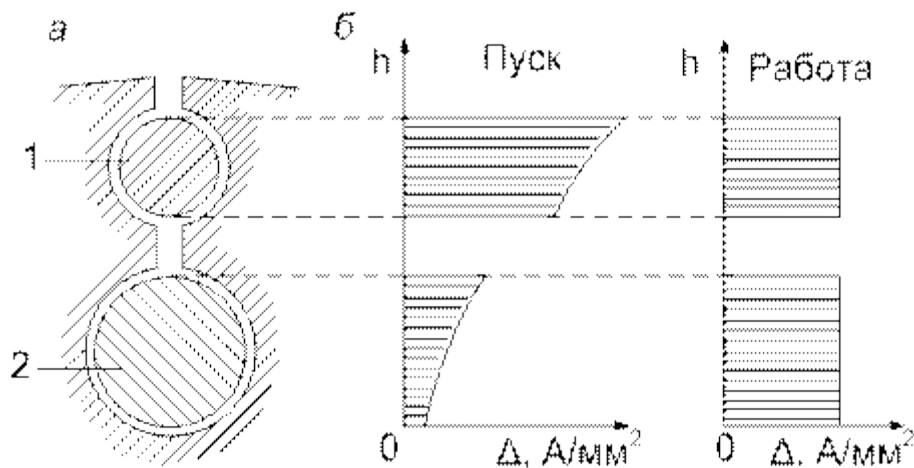


Рис. 9.5. Двух клеточный ротор: *а* – разрез ротора; *б* – распределение плотности тока в клетках при пуске и работе

В момент пуска двигателя $Z_2 \gg Z_1$ и ток вытесняется в первую пусковую обмотку. Повышенное пусковое сопротивление этой обмотки обеспечивает двигателю значительный пусковой момент M_1 на рис.9.6.

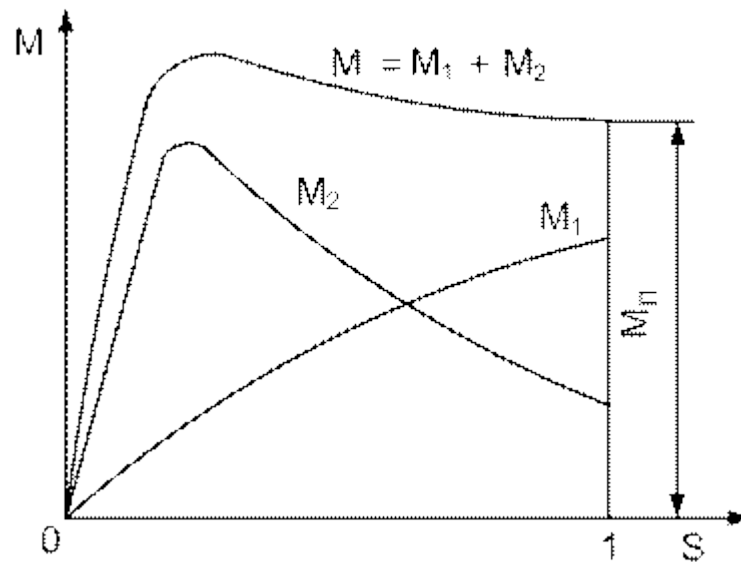


Рис. 9.6. Механическая характеристика двух клеточного асинхронного двигателя

По мере увеличения частоты вращения ротора уменьшается частота тока в роторе, при этом индуктивное сопротивление рабочей клетки уменьшается, и уменьшается Z_2 ; происходит перераспределение плотности тока в стержнях пусковой и рабочей обмоток как показано на рис. 9.5, б.

9.4.2. Двигатель с глубокими пазами на роторе

Двигатель с глубокими пазами на роторе от обычного асинхронного двигателя отличается тем, что у него пазы ротора сделаны в виде узких глубоких щелей, в которые вложены стержни обмотки ротора, представляющие собой узкие полосы. С обеих сторон эти стержни приварены к замыкающим кольцам. Обычно глубокий паз имеет соотношение размеров $h_p/b_p = 9-10$, где h_p , b_p – высота и ширина паза (рис. 9.7, а).

В момент включения двигателя, когда частота тока в роторе имеет наибольшее значение ($f_2 = f_1$), индуктивное сопротивление нижней части каждого стержня значительно больше верхней. Объясняется это тем, что нижняя часть стержня сцеплена с большим числом магнитных силовых линий поля рассеяния. На рис. 9.7, б показан график распределения плотности пускового тока в стержне ротора с глубокими пазами по высоте стержня. Из этого графика следует, что почти весь ток ротора проходит по верхней части стержня. Это равноценно увеличению активного сопротивления стержня ротора, что, как известно, способствует росту пускового момента двигателя и некоторому ограничению пускового тока.

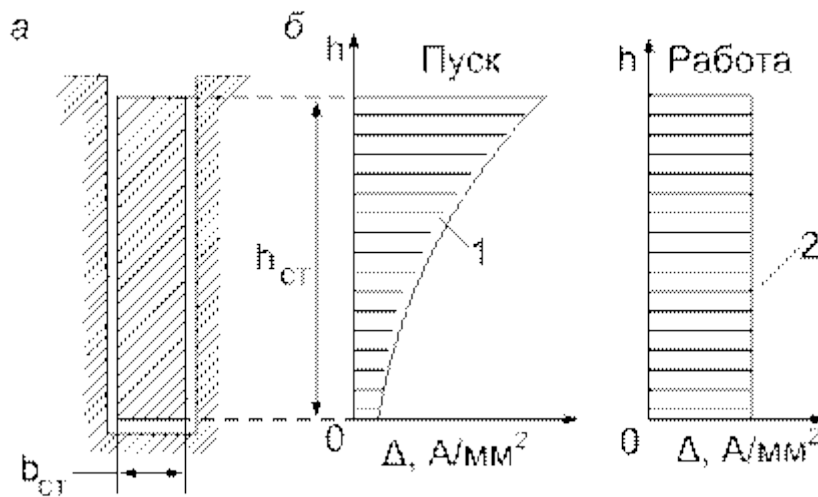


Рис. 9.7. Ротор с глубокими пазами: *a* – разрез ротора; *б* – распределение плотности тока ротора по высоте стержня при пуске (1) и работе двигателя (2)

Таким образом, двигатель с глубокими пазами на роторе обладает благоприятным соотношением пусковых параметров: большим пусковым моментом при сравнительно небольшом пусковом токе. По мере нарастания частоты вращения ротора частота тока в роторе убывает ($f_2 = sf_1$). В связи с этим уменьшается индуктивное сопротивление обмотки ротора $X_2 \equiv f_2$. Распределение плотности тока по высоте стержня в том случае становится более равномерным, что ведет к уменьшению активного сопротивления ротора. При работе двигателя с номинальной частотой вращения, когда $f_2 \ll f_1$, процесс «вытеснения» тока практически прекращается и двигатель работает как обычный короткозамкнутый.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид имеет механическая характеристика $M = f(S)$ в двигательном, генераторном и режиме электромагнитного тормоза?
2. На что влияет активное сопротивление, вводимое в цепь обмотки ротора?
3. Какие существуют способы улучшения пусковых характеристик асинхронных короткозамкнутых двигателей?

Заключение

Данное пособие разработано в соответствии с рабочей программой ПМ.01 Выполнение работ по монтажу, наладке и обслуживанию компьютерных сетей и оборудования для студентов техникума.

– Приобретенные студентами практические навыки практической работы позволяют более глубоко усвоить основные понятия и принципы электрических машин и аппаратов.

– Кроме того, практическая деятельность делает занятия увлекательными и прививает навыки работы с оборудованием электрических машин и аппаратов, развивает наблюдательность и умение логически мыслить.

После проведения данного практикума студенты должны:

– уметь производить настройку оборудования и автоматических выключателей, а и также производить пусконаладочные работы по электрическим машинам и аппаратов

– отработать на практическом опыте алгоритмы настройки электрического оборудования;

– подтверждать практическую значимость работы теоретическим материалом.

Список использованной литературы:

1 Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию, М., Высшая школа, 2010.

2 Справочник по автоматизированному электроприводу /под редакцией В.А. Елисеева, М., Энергоатомиздат, 2015.

3 Электротехнический справочник /под редакцией В.Г. Грудзинского, т.3 кн.2, М., Энергоатомиздат, 2015.

4 Княжеский В.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение и электрооборудование предприятий и цехов, М., Энергия, 2014.