Учреждение Образования «Марьиногорский государственный ордена «Знак Почета» аграрно-технический колледж имени В.Е. Лобанка»

РАССМОТРЕНО
Протокол заседания
цикловой комиссии
преподавателей
_____
_____
«____»_____201 г. №

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по
учебной работе УО МГАТК
_____ А.А.Смоляк
(подпись)
«____»_____201 г.

УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА: «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»

Методические рекомендации по изучению учебной дисциплины и выполнению контрольных заданий для учащихся заочной формы получения образования по специальности 2 – 74 06 31 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства»

Разработчик Кащеева О.А.

п. Марьино

Общие методические рекомендации по изучению дисциплины

Целью изучения дисциплины «Электрические машины и аппараты» является получение необходимых знаний по теории электромашинных генераторов постоянного и переменного тока, трансформаторов, электрических двигателей постоянного и переменного тока и их конструкциям, а также приобретение навыков по их разборке и сборке, подготовке к работе, пуску, регулированию, управлению и устранению неисправностей электрических машин.

Дисциплина «Электрические машины и аппараты» изучается на IV курсе. Программа предусматривает изучение принципа действия, устройства и основных характеристик электрических машин и трансформаторов общего назначения, а также электрических машин и трансформаторов малой мощности для систем автоматики.

Дисциплина «Электрические машины и аппараты» является одной из базовых для электротехнических специальностей. При ее изучении необходимы знания по математике, физике, теоретическим основам электротехники и электрическим измерениям, конструкционным и электротехническим материалам, основам технической механики и другим дисциплинам.

В свою очередь, данная дисциплина является необходимой для изучения последующих специальных дисциплин, таких как «Электроснабжение сельского хозяйства», «Основы электропривода», «Основы автоматики» и др. Без понимания принципа работы и устройства электрических машин и трансформаторов и физического смысла явлений, происходящих при их работе в номинальном и аварийном режимах, при пуске и регулировании, невозможна грамотная и безаварийная эксплуатация всего оборудования.

Дисциплина изучается самостоятельно в межсессионный период по учебным заданиям и контрольным вопросам методических указаний и в период лабораторно-экзаменационной сессии под руководством преподавателя.

Изучать предмет рекомендуется в следующей последовательности:

Ознакомиться с программой учебного задания и краткими методическими указаниями по соответствующим разделам и темам курса.

Самостоятельно изучить материал по рекомендуемой литературе.

Ответить на вопросы для самоконтроля.

Рассмотреть решенные примеры типовых задач, приведенные в рекомендованной литературе и методических указаниях.

Выполнить соответствующую контрольную работу и отослать на рецензирование (при затруднениях можно получить лично или заочно консультацию в учреждений образования).

Во время лабораторно-экзаменационной сессии проводятся обзорные занятия по наиболее важным, узловым темам курса и выполняются лабораторные работы. К экзамену допускаются учащиеся, получившие зачеты по всем контрольным и лабораторным работам.

В результате изучения дисциплины «Электрические машины» учащиеся должны знать

на уровне представления:

назначение и применение электрических машин, трансформаторов и машин малой мощности (микромашин) в сельскохозяйственном производстве, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов;

классификацию и номенклатуру электрических машин и трансформаторов;

направления совершенствования электрических машин;

на уровне понимания:

принцип действия, конструкции, рабочие процессы и эксплуатационные особенности трансформаторов и электрических машин, применяемых в сельском хозяйстве;

физические процессы, происходящие в электрических машинах и трансформаторах при различных режимах работы;

принципиальные схемы трансформаторов и электрических машин, группы соединения обмоток трансформаторов, различные условия включения их в работу;

уметь:

разбирать, собирать, проводить регулировки электрических машин и их узлов;

собирать электрические цепи, включая в работу электрические машины;

собирать электрические цепи и включать трансформаторы и синхронные генераторы на параллельную работу;

- обнаруживать и исправлять основные дефекты в работе электрических машин и трансформаторов.

Весь учебный материал программы распределен на два задания, по каждому из которых выполняется контрольная работа. Каждая контрольная работа построена по стовариантной системе и содержит два вопроса и две задачи. Номера вариантов контрольных вопросов и задач выбираются из соответствующих таблиц по двум последним цифрам шифра.

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие требования:

Каждая контрольная работа выполняется в отдельной тетради, аккуратно и разборчивым почерком, без помарок и исправлений. Для замечаний рецензента оставляют поля 3-3,5 см.

Вопросы и условия задач должны быть переписаны полностью. Для задач должны быть приведены данные своего варианта.

Ответы на вопросы должны быть краткими, точными, по существу и сопровождаться соответствующими иллюстрациями: рисунками, схемами, эскизами и т. п.

Решения задач должны сопровождаться краткими пояснениями, схемами, графиками, выполненными в соответствии с ГОСТами. При решении сначала записывается формула, затем подставляются числовые значения (последовательность подстановки числовых значений величин должна быть такая же, как и буквенных) и пишется конечный ответ с указанием единицы измерения. Промежуточные вычисления должны быть исключены. Вычисления должны содержать три значащие цифры. Все величины должны измеряться только в единицах СИ.

В конце работы указывается литература, которой пользовались при выполнении контрольной работы, ставится дата и подпись.

Контрольные работы, выполненные небрежно, с отступлениями от требований или в неполном объеме, к рецензированию не принимаются и не зачитываются.

В зачтенных контрольных работах к экзамену должны быть представлены дополнения и исправления по замечаниям рецензента.

Незачтенные работы предоставляются на повторную проверку вместе с первоначальным незачтенным экземпляром.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кацман, М.М. Электрические машины. - М: Издательский центр «Академия», 2006.

2 Шевчик, Н.Е., Подгайский Г. Д. Электрические машины. -Мн.: Дизайн ПРО, 2000.

3 Вольдек, А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: учеб. для вузов /А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – 319 с.

Введение

Роль электрических машин в сельском хозяйстве. Их классификация. История и перспективы развития теории и практики электромашиностроения. Содержание предмета, его значение для техника-электрика, связь с другими предметами учебного плана.

1 МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1 Принцип действия и устройство машин постоянного тока

Основные законы электротехники в применении к теории электрических машин. Условия работы и элементы конструкции любой электрической машины: статор, ротор, якорь, индуктор. Принцип работы генераторов переменного и постоянного тока. Коллекторные и униполярные машины. Устройство и серии машин постоянного тока П, 2П, 4П. Схемы возбуждения машин постоянного тока.

1.2 Обмотки якоря

Основные элементы обмоток. Простые обмотки якоря: расчетные формулы, принцип выполнения. Понятие о сложных обмотках. Электродвижущая сила обмотки якоря. Способы регулирования напряжения генераторов.

Практическое задание. Расчет, вычерчивание развернутых схем и схем параллельных ветвей простых обмоток.

1.3 Реакция якоря

Магнитная цепь машины постоянного тока. Сущность реакции якоря. Геометрическая и физическая нейтрали. Поперечные и продольные составляющие реакции якоря. Влияние реакции якоря на работу машин постоянного тока. Компенсационная обмотка, ее назначение и конструкция.

1.4. Коммутация в электрических машинах

Сущность коммутации. Реактивная э.д.с. и э.д.с. вращения. Прямолинейная и криволинейная коммутация. Способы улучшения коммутации. Радиопомехи от коллекторных машин и способы их подавления.

1.5 Генераторы постоянного тока и их характеристики

Генератор независимого возбуждения и его характеристики. Принцип самовозбуждения генераторов. Характеристики генераторов параллельного и смешанного возбуждения.

Лабораторная работа (выполняется в учебном заведении).

Сборка и разборка машин постоянного тока. Снятие характеристик генератора параллельного или смешанного возбуждения

1.6. Двигатели постоянного тока и их характеристики

Принцип действия двигателя постоянного тока. Уравнение э.д.с. и напряжения. Электромагнитный момент. Уравнение моментов.

Двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения: пуск в ход, регулирование частоты вращения, рабочие характеристики, применение. Достоинства и недостатки постоянного тока. Понятие о бесконтактных двигателях постоянного тока.

Лабораторная работа (выполняется в учебном заведении). Исследование двигателей параллельного и последовательного возбуждения: пуск, регулирование частоты вращения и снятие рабочих характеристик

1.7. Коэффициент полезного действия машин постоянного тока.

Классификация потерь. Энергетические диаграммы генератора и двигателя. Коэффициент полезного действия, способы его определения, зависимость от нагрузки.

Практическое задание. Определение токов, моментов, потерь и к.п.д. машин постоянного тока.

1.8. Машины постоянного тока малой мощности

Общая характеристика машин постоянного тока малой мощности. Их роль в современной технике. Исполнительные двигатели постоянного тока и тахогенераторы. Электромашинные усилители поперечного поля (ЭМУ).

Методические указания к разделу 1

Прежде, чем приступать к изучению электрических машин, необходимо хорошо уяснить основные законы электромагнетизма: закон электромагнитной индукции в формулировках Фарадея и Максвелла и правило правой руки, закон Ампера об электромагнитных силах и правило левой руки. Из этих законов следуют условия работы любой электрической машины и принцип их обратимости. На законе электромагнитной индукции основан принцип работы генераторов и трансформаторов, а на законе Ампера – принцип действия двигателей. Следует уяснить, что любая электрическая машина состоит из двух основных частей: неподвижную часть называют статором, а вращающуюся - ротором. В одной из этих частей размещают элементы для создания магнитного поля, необходимого для работы любой электрической машины (для ее возбуждения) и эта часть машины называется индуктором. В другой части располагается рабочая обмотка в которой происходят основные электромагнитные процессы) индуктируется э.д.с. и действует электромагнитная сила). Эта часть называется якорем. Якорь может быть вращающимся и неподвижным. Якорь и его обмотка является наиболее сложной частью электрических машин.

Тему 1.2. следует изучать в таком порядке:

1 Изучить основные определения, относящиеся к обмоткам якорей электрических машин постоянного тока. Что называется катушкой, секцией, полюсным делением, геометрической нейтралью, однослойной и двухслойной обмоткой, шаги обмотки. Уяснить, что для простой петлевой обмотки начало и конец секции присоединены к соседним коллекторным пластинам (шаг по коллектору $У_к$ =1); для простой волновой обмотки начало и конец секции присоединены через несколько коллекторных пластин ($У_к > 1$).

2 Рассмотреть рекомендованные в учебном задании примеры из учебников.

3 Научиться рассчитывать шаги обмоток и составлять обмоточные таблицы для простой петлевой и простой волновой обмотки.

4 Научиться вычерчивать развернутые схемы обмоток, расставлять полюса и щетки, определять полярность щеток и составлять схемы параллельных ветвей.

5 Усвоить общие понятия о сложных обмотках.

Пример 1. Вычертить развернутую схему и схему параллельных ветвей простой волновой двухслойной обмотки якоря из 13 секций, если машина имеет четыре полюса. Число пазов и число коллекторных пластин принять равным числу секций: $S = K = Z = 13$; $2p = 4$.

Р е ш е н и е:

Первый частичный шаг

$$У_1 = \frac{Z \pm b}{2p} = \frac{13 - 1}{4} = 3$$

где: b – ближайшее число, которое отнимают или добавляют к Z, чтобы $У_1$ было целым числом.

Результирующий шаг и шаг по коллектору

$$У = У_к = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{13 - 1}{2} = 6$$

Второй частичный шаг

$$У_2 = У - У_1 = 6 - 3 = 3$$

Знак минус при расчете шага по коллектору соответствует левоходовой обмотке, так как правоходовые обмотки практического применения не получили вследствие дополнительного расхода меди на перекрещивание в лобовых частях.

Для облегчения выполнения обмотки составляем обмоточную таблицу. Начинаем выполнять обмотку с первой коллекторной пластины, затем укладываем ее в паз 1(рис.1в). Для определения номера паза, в который нужно уложить вторую активную сторону этой секции, к номеру паза, в котором лежит начало секции, прибавляем $У_1$: 1 + 3 = 4. Вторую сторону укладываем в нижнюю часть паза 4 и присоединяем к седьмой коллекторной пластине, так как шаг по коллектору $У_к = 6$: 1 + 6 = 7. Вторую секцию начинаем с седьмой коллекторной пластины и укладываем в пазы 7 – 10, а конец присоединяем к 13 коллекторной пластине и т.д., пока не будут уложены все 13 секций и обмотка не окажется замкнутой. Так как обмотка двухслойная, номера сторон секций, лежащих внизу паза, снабдим в обмоточной таблице штрихом, а на развернутой схеме изобразим штриховой линией.

Обмоточная таблица

Номер коллекторной пластины, к которой припаяно начало секции	Номера пазов, в которых лежит секция	Номер коллекторной пластины, к которой припаян конец секции
1	1-4′	7
7	7-10′	13
13	13-3′	6
6	6-9′	12
12	12-2′	5
5	5-8′	11
$У_к$ 11	У 11-1′	4
4	4-7′	10
10	10-13′	3
3	3-6′	9
9	9-12′	2
2	2-5′	8
8	8-11′	1

В первой графе по вертикали к каждой цифре прибавляем $У_к$, во второй – по вертикали У, а по горизонтали $У_1$, в третьей – по вертикали $У_к$.

При составлении развернутой схемы лобовые соединения секций должны располагаться симметрично относительно оси секции и коллекторных пластин, к которым они присоединены. Ширина полюса принимается $\approx 0{,}8\tau$, где τ – полюсное деление. Количество щеток устанавливается равным числу полюсов. Щетки устанавливают так, чтобы они находились на коллекторных пластинах, соединенных с проводниками обмотки якоря, расположенными на геометрической нейтрали.

Для определения полярности щеток задаемся направлением вращения якоря и по правилу правой руки определяем направление индуктированной э.д.с.

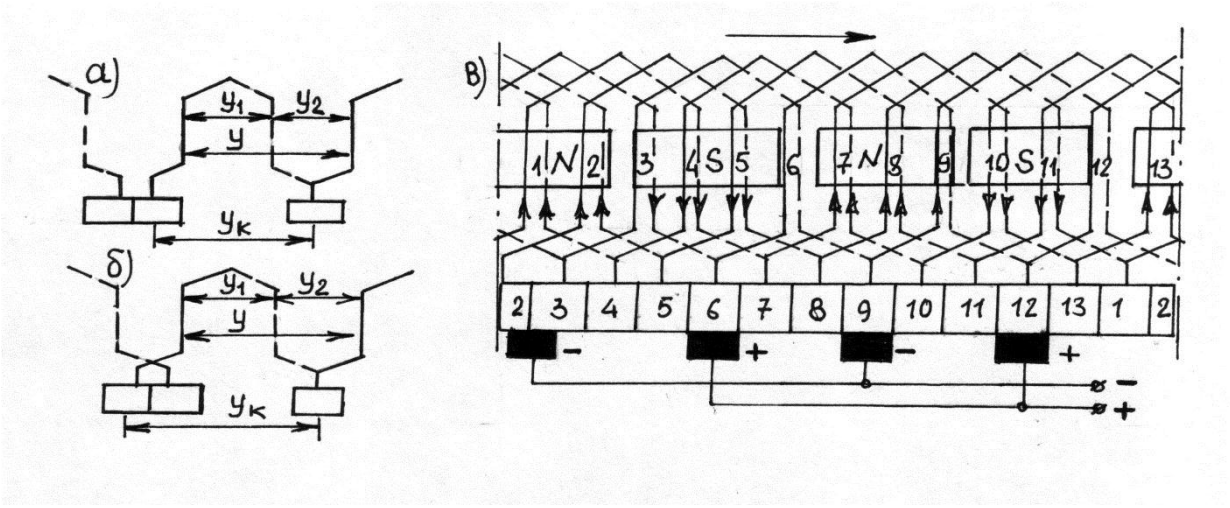

Рисунок 1- Простая волновая обмотка:
а) – правоходовая; б) – левоходовая; в) развернутая схема

Схему параллельных ветвей (рис.2) получают из развернутой схемы и обмоточной таблицы.

Для этого, изображают щетки и имеющие с ними контакт коллекторной пластины. Затем совершают обход секций обмотки, начиная с коллекторной пластины 2, к которой присоединена вторая секция, лежащая в пазах 2-5´. С ней последовательно соединена 8 секция (8-11´) и т.д. В результате получаем электрическую схему с двумя параллельными ветвями. Секции 6 (6-9´), 9 (9-12´) и 3 (3-6´) в данный момент времени оказываются замкнутыми накоротко щетками.

Во избежание искрения закороченные секции должны находиться на геометрической нейтрали.

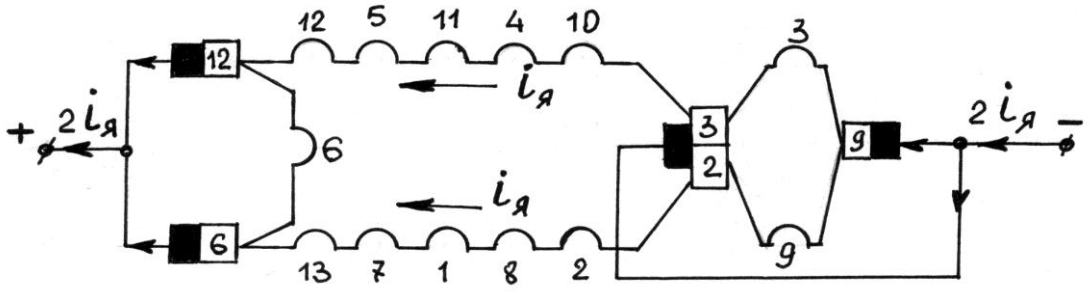

Рисунок 2- Схема параллельных ветвей

Следует иметь ввиду, что простая волновая обмотка всегда имеет две параллельные ветви (2·а=2). Для простой петлевой обмотки количество параллельных ветвей равно количеству полюсов (2·а =2·р).

В теме 1.3. изучается реакция якоря машин постоянного тока, т.е. влияние магнитного поля якоря на магнитное поле основных полюсов.

Реакция якоря имеет две составляющие: продольную - $Ф_{яd}$ и поперечную - $Ф_{яq}$. Продольная составляющая ослабляет магнитное поле машины, что приводит к уменьшению э.д.с. Поперечная составляющая искажает магнитное поле, что приводит к смещению физической нейтрали и искрению под щетками. Действием реакции якоря объясняется тяжелый аварийный режим – круговой огонь на коллекторе.

Неудовлетворительная коммутация (тема 1.4.) внешне проявляется в искрении под щетками. Степень искрения оценивается классами коммутации: 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, 2, 3. В этой теме следует уяснить причины искрения и способы улучшения коммутации.

В теме 1.5. необходимо сначала усвоить способы возбуждения машин постоянного тока и принципиальные схемы подключения различных обмоток, обратив внимание на конструктивные особенности и сопротивление шунтовых и сериесных обмоток. Принцип самовозбуждения генераторов как постоянного, так и переменного тока основан на наличии остаточного магнетизма в магнитной системе машины. Кроме этого, должна быть правильно подключена обмотка возбуждения, частота вращения должна быть выше критической, а сопротивление цепи возбуждения меньше критического.

Свойства генераторов постоянного и переменного тока отражают его характеристики: характеристика холостого хода, характеристика короткого замыкания, внешняя, регулировочная и нагрузочная.

Внешняя характеристика характеризует качество получаемой от генераторов и трансформаторов электрической энергии и по ней можно определить важнейший эксплуатационный показатель источников электрической энергии – изменение напряжения – ΔU.

Напряжение на зажимах генератора постоянного тока

$$U = E - I_я \cdot R_я,$$

где $R_я$ – сопротивление цепи якоря, которое в общем случае складывается из сопротивлений обмотки якоря $r_я$, обмотки добавочных полюсов $r_д$, компенсационной обмотки $r_к$, последовательной (сериесной) обмотки $r_с$ и переходного щеточного контакта $r_щ$.

Э.д.с. якоря двигателя и генератора постоянного тока

$$E = C_E \cdot Ф \cdot n = \frac{PN}{60\,a} \cdot Ф \cdot n$$

где: C_E – постоянная для данной машины величина;

P – число пар полюсов;

N – число проводников обмотки якоря;

a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря;

Φ – магнитный поток,

n – частота вращения якоря, об/мин.

При изучении темы 1.6. необходимо уяснить принцип действия двигателя постоянного тока и роль коллектора, как механического преобразователя постоянного тока сети в переменный ток якоря.

Основные формулы, объясняющие работу двигателя:

Уравнение равновесия э.д.с.

$$U = E + I_я \cdot R_я$$

Подведенное напряжение U уравновешивается противо-э.д.с. E и падением напряжения в цепи якоря $I_я \cdot R_я$.

В момент пуска или при затормаживании якоря $n = 0$, $E=C_E \cdot n \cdot \Phi=0$ и пусковой ток увеличивается в десятки раз

$$I_п = \frac{U}{Rя}$$

Кратность пускового тока

$$K_i = \frac{I_п}{I_н}$$

Для уменьшения пускового тока в цепь якоря на время пуска включают пусковой реостат

$$R_{п.р.} = \frac{U - I_Я R_Я}{I_Я}$$

где, величину $I_я$ в момент пуска принимают обычно в 1,5…2 раза больше номинального тока двигателя.

Из уравнения равновесия э.д.с. двигателя, учитывая, что $E = C_E \cdot n \cdot \Phi$, следует формула частоты вращения якоря

$$n = \frac{U - I_Я R_Я}{C_E \cdot \Phi}$$

Из полученного выражения вытекают способы регулирования частоты вращения двигателя: 1) изменением напряжения, 2) изменением сопротивления цепи якоря, 3) изменением магнитного потока регулировочный реостатом в цепи возбуждения.

Из этой же формулы следует, что при значительном ослаблении магнитного потока двигатель постоянного тока может пойти «вразнос».

Электромагнитный вращающий момент двигателя

$$M = C_м \cdot \Phi \cdot I_я = \frac{P \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \Phi \cdot I_я$$

где $C_м$ – постоянная для данной машины величина.

Уравнение равновесия моментов

$$M = M_o + M_2 \pm M_{дин}$$

где M_o – момент холостого хода,
M_2 - полезный момент,
$M_{дин}$ – динамический момент

Полезный вращающий момент на валу двигателя

$$M_2 = 9550 \cdot \frac{P_2}{n}$$

где P_2 – полезная мощность на валу двигателя, кВт.

Пример 2. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения 2ПН200МУЗ имеет следующие паспортные данные: номинальная мощность $P_н$ = 30 кВт, номинальная частота вращения $n_н$ = 600 об/мин, сопротивление цепи якоря $R_я$ = 0,08 Ом, сопротивление цепи возбуждения $r_в$ = 62 Ом, коэффициент полезного действия η = 75%, номинальное напряжение $U_н$ = 440В. Определить номинальный и электромагнитный моменты, момент холостого хода, суммарные потери и сопротивление пускового реостата, при котором пусковой ток якоря в два раза превышает номинальный.

2ПН00МУЗ: двигатель постоянного тока 2-ой серии, Н – защищенный (незакрытый) с самовентиляцией, 200 мм – высота оси вращения, М – средняя длина сердечника якоря, У – для умеренного климата, З – категория размещения (для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий).

Решение.

1 Номинальный ток, потребляемый двигателем из сети

$$I_н = \frac{P_н}{U_н \cdot \eta} = \frac{30 \cdot 10^3}{440 \cdot 0,75} = 90,9\ A$$

2 Ток возбуждения

$$I_в = \frac{U_н}{r_в} = \frac{440}{62} = 7,1\ A$$

3 Ток якоря

$$I_z = I_н - I_в = 90,9 - 7,1 = 83,8\ A$$

4 Противо-э.д.с. обмотки якоря

$$E = U_н - I_я \cdot R_я = 440 - 83,8 \cdot 0,08 = 433\ B$$

5 Номинальный (полезный) момент на валу двигателя

$$M_н = 9550 \frac{P_н}{n_н} = 9550 \frac{30}{600} = 447\ H \cdot м$$

6 Электромагнитный момент якоря

$$M = \frac{E \cdot I_я}{\omega} = \frac{E \cdot I_я \cdot 30}{\pi \cdot n} = \frac{433 \cdot 83,8 \cdot 30}{3,14 \cdot 600} = 577\ H \cdot м$$

где ω – угловая скорость, рад/с.

7 Момент холостого хода

$$M_o = M - M_н = 577 - 447 = 130\ H \cdot м$$

8 Сопротивление пускового реостата, при котором пусковой ток якоря в два раза превышает номинальный

$$I_я = 2 \cdot I_н = 2 \cdot 90,9 = 182\ A$$

$$R_{п.р.} = \frac{U_н - I_я \cdot R_я}{I_я} = \frac{440 - 182 \cdot 0,08}{182} = 2,34\ Ом$$

Вопросы для самоконтроля по разделу 1

1 Назовите условия работы и основные элементы конструкции любой электрической машины.
2 Перечислите, из каких частей состоит машина постоянного тока и их назначение.
3 Дайте определения основных элементов обмотки якоря.
4 Запишите формулу э.д.с. обмотки якоря и объясните способы регулирования напряжения генераторов.

5 Что называется реакцией якоря?
6 Почему в результате действия реакции якоря уменьшается э.д.с. генератора?
7 Что такое «круговой огонь» на коллекторе и причины его возникновения?
8 Что такое геометрическая и физическая нейтрали машины постоянного тока?
9 Что называется коммутацией в машинах постоянного тока?
10 Объясните причины возникновения добавочного тока в коммутируемых секциях?
11 Как оценивается качество коммутации?
12 Каков порядок чередования основных и добавочных полюсов в машинах постоянного тока?
13 Начертите принципиальные схемы генераторов и двигателей различных систем возбуждения.
14 Объясните принципы самовозбуждения генераторов постоянного тока.
15 Начертите характеристики генератора параллельного возбуждения и поясните как они снимаются.
16 Какой вид имеет внешняя характеристика генератора смешанного возбуждения при согласном и встречном включении обмоток возбуждения?
17 Начертите и поясните схемы «короткий шунт» и «длинный шунт» для машин смешанного возбуждения.
18 Чем объясняются большие пусковые токи двигателей постоянного тока и их последствия?
19 В каких ситуациях двигатели параллельного, последовательного и смешанного возбуждения могут пойти «вразнос»?
20 В каких положениях должны находиться рукоятки пусковых и регулировочных реостатов в момент пуска?
21 Назовите достоинства и недостатки двигателей постоянного тока и их применение.
22 Какие потери в машинах постоянного тока относятся к постоянным, а какие к переменным?
23 Какие требования предъявляются к исполнительным двигателям?
24 Каково назначение и применение тахогенераторов?
25 Объясните способы управления исполнительными двигателями постоянного тока.

2 АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

2.1 Общие сведения об асинхронных машинах

Основные определения. Принцип действия асинхронных двигателей. Скольжение. Устройство асинхронных двигателей с короткозамкнутым и с

фазным ротором (с контактными кольцами). Асинхронные двигатели обращенного исполнения с внешним ротором. Серии асинхронных двигателей и их номинальные данные.

Лабораторная работа. Конструкции, паспортные данные и серии асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором различных модификаций, их сборка и разборка.

2.2 Рабочий процесс асинхронного двигателя

Асинхронный двигатель при неподвижном роторе. Опыты холостого хода и короткого замыкания. Приведение параметров ротора. Асинхронный двигатель при вращении ротора. Работа асинхронного двигателя при нагрузке. Векторная диаграмма асинхронного двигателя.

2.3 Схемы замещения асинхронного двигателя.

Определение схемы замещения из векторных уравнений и векторных диаграмм асинхронного двигателя. Т-образная и Г-образная схемы замещения. Определение параметров схем замещения по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

2.4 Электромагнитный момент асинхронной машины

Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя. Электромагнитный момент. Зависимость электромагнитного момента от скольжения, напряжения и активного сопротивления ротора. Уравнение моментов. Механическая характеристика асинхронного двигателя. Моменты: номинальный, максимальный, минимальный и пусковой. Критическое скольжение. Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении активного сопротивления ротора и напряжения сети. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

Практическое задание. Определение токов и моментов асинхронного двигателя. Построение механической характеристики. Определение возможности пуска и работы двигателя при пониженном напряжении.

Лабораторная работа (выполняется в учебном заведении). Снятие рабочих характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2.5 Пуск и регулирование частоты вращения трехфазных асинхронных двигателей.

Прямой пуск асинхронных двигателей. Пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при пониженном напряжении. Пуск асинхронных двигателей с фазным ротором.

Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором изменением частоты тока, числа пар полюсов обмотки статора и величины питающего напряжения.

Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей с фазным ротором реостатом в цепи ротора.

Сравнительная оценка и область применения различных способов регулирования частоты вращения.

Лабораторные работы:

1 Сборка схем , пуск асинхронных двигателей при полном и пониженном напряжении.

2 Сборка схем, регулирование частоты вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым и с фазным ротором. Определение коэффициента трансформации и частоты скольжения **(выполняется в учебном заведении).**

2.6 Асинхронные двигатели с улучшенными пусковыми свойствами.

Асинхронные двигатели с двойной беличьей клеткой и с глубоким пазом: устройство, принцип действия, механические характеристики, применение.

2.7 Однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели.

Принцип действия однофазных асинхронных двигателей. Аварийный переход трехфазных двигателей в однофазный режим. Однофазные асинхронные двигатели с конденсаторным пуском, с пусковым сопротивлением и с пусковой обмоткой повышенного активного сопротивления.

Асинхронные конденсаторные двигатели (двухфазные). Способы получения вращающегося магнитного поля с помощью емкости, емкости и добавочного сопротивления, емкости и подбора соотношения напряжений.

Сравнительная характеристика однофазных и конденсаторных асинхронных двигателей.

Универсальные асинхронные двигатели для работы от однофазной и трехфазной сети.

Лабораторная работа. Исследование однофазных и конденсаторных асинхронных двигателей: ознакомление с конструкциями, сборка схем, пуск и изменение направления вращения

2.8 Асинхронные генераторы.

Принцип действия асинхронных генераторов с возбуждением от сети и от конденсаторов. Регулирование напряжения и частоты тока. Достоинства, недостатки и применение асинхронных генераторов.

Лабораторная работа. Включение асинхронного двигателя в режиме генератора с возбуждением от сети и конденсаторов.

2.9 Индукционные регуляторы и фазорегуляторы.

Трехфазный и однофазный индукционный регуляторы (поворотные автотрансформаторы), их схемы, принцип работы, векторные диаграммы и применение.

Фазорегуляторы (поворотные трансформаторы), принцип работы и применение.

Лабораторная работа. Исследование трехфазного индукционного регулятора.

2.10 Асинхронныеи коллекторные машины малой мощности.

Асинхронные исполнительные двигатели: устройство, типы роторов, принцип действия, способы управления и применение. Асинхронные тахогенераторы.

Однофазный асинхронный двигатель с расщепленными (экранированными) полюсами.

Однофазные коллекторные двигатели: особенности конструкций и работы. Универсальный коллекторный двигатель.

Понятие о вентильных двигателях.

Электрические машины синхронной связи (сельсины): устройство контактных и бесконтактных сельсинов, принцип работы и применение.

Лабораторная работа. Подключение и изменение режимов работы асинхронных исполнительных и универсальных коллекторных двигателей

2.11 Электромашинные преобразователи.

Электромашинные преобразователи двигатель-генераторного типа, одноякорные преобразователи, совмещающие в одной машине двигатель и генератор. Вращающиеся преобразователи частоты: устройство, принцип работы и применение.

Лабораторная работа. Исследование преобразователей частоты. Исследование конструкции асинхронного и синхронно-реактивного преобразователей частоты, включение их в работу, подключение высокочастотного электроинструмента

Методические указания к разделу 2

Асинхронные двигатели наиболее простые по устройству и надежные в эксплуатации, имеют высокий коэффициент полезного действия и коэффициент мощности, поэтому они нашли широкое применение в промышленном и особенно в сельском хозяйстве. Промышленностью выпускаются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором четвертой и пятой серии 4А, 4АМ (модернизированные) и 5А, 4АН и серии «Интерэлектро» АИР, АИС, а также двигатели с фазным ротором 4АК, 4АНК (К – с контактными кольцами). В этих сериях предусмотрено множество модификаций, в том числе и двигатели сельскохозяйственного исполнения, предназначенные для работы на открытом воздухе и в агрессивных средах (4А…СУ1, АИР…СУ1), а также со встроенной температурной защитой (АИР…БСУ2).

В эксплуатации, особенно в промышленности, находятся множество асинхронных двигателей и старых серий АО2, А2, АО3, АК2 и др., выпуск которых прекращен.

Важнейшей характеристикой любого электрического двигателя, в том числе и асинхронного, является механическая характеристика. Поэтому особое внимание следует уделить изучению темы 4.4., связанной с этой характеристикой: устойчивая и неустойчивая часть характеристики; характерные точки, соответствующие идеальному холостому ходу ($S = 0$, $M = 0$), номинальной нагрузке ($S = S_н$, $M = M_н$), критическому режиму ($S = S_к$, $M = M_{max}$) и режиму пуска ($S = 1$, $M = M_п$); перегрузочная способность $K_{max} = M_{max}/M_н$, кратность пускового момента $K_п = M_п/M_н$ и кратность минимального момента $K_{min} = M_{min}/M_н$. Максимальный момент необходимо знать для определения возможности работы двигателя при перегрузках, а минимальный момент – для определения возможности пуска двигателя под нагрузкой. Для практических расчетов критическое скольжение определяют по формуле

$$S_к = S_н (K_{max} + \sqrt{K_{max}^2 - 1})$$

Обратите внимание, что вращающий момент асинхронного двигателя зависит от квадрата приложенного напряжения

$$M \equiv U^2$$

Поэтому снижение напряжения может привести к невозможности пуска двигателя $(M'_{min} < M_{ст})$ или к невозможности его работы $(M'_{max} < M_{ст})$

Пример 5. Асинхронный двигатель АИР200L6У3 имеет следующие паспортные данные: номинальная мощность $P_н$ = 300 кВт, номинальное напряжение 380 В, номинальное скольжение 2,5%, коэффициент полезного

действия η= 90%, коэффициент мощности cosφ = 0,85, кратность пускового тока $К_i$ =6,5, кратность пускового момента $К_п$ = 1,6, перегрузочная способность $К_{max}$ = 2,4, кратность минимального момента $К_{min}$ =1,4. Частота тока в сети 50 Гц.

Определить: потребляемую мощность, номинальный и пусковой токи, номинальный, пусковой, максимальный и минимальный моменты, а также момент холостого хода и электромагнитный момент. Как изменится пусковой ток, пусковой, максимальный и минимальный моменты при снижении напряжения на 10%?

Решение:

АИР200L6У3 – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в чугунном корпусе закрытый обдуваемый серии «Интерэлектро», Р – первый вариант привязки мощности к установочным размерам, высота оси вращения 200 мм, L – длинная станина, 6 – число полюсов, У – для умеренного климата, 3 – категория размещения: для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий (например, в не отапливаемых помещениях).

1 Потребляемая из сети мощность

$$P_1 = \frac{P_н}{\eta} = \frac{30}{0,9} = 33,33 \quad кВт$$

2 Номинальный и пусковой токи

$$I_н = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_н \cdot \cos\varphi} = \frac{33,33 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} = 59,6 \quad A$$

$$I_п = I_н \cdot K_i = 59,6 \cdot 6,5 = 387 \quad A$$

3 Номинальная частота вращения ротора

$$n_н = n_1(1 - S_н) = 1000(1 - 0,025) = 975 \text{ об/мин}$$

n_1 – синхронная частота вращения магнитного поля

$$n_1 = \frac{60f}{P} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \quad об/мин$$

4 Номинальный, пусковой, максимальный и минимальный моменты

$$M_н = 9550 \frac{P_н}{n_н} = 9550 \frac{30}{975} = 294 \; Н \cdot м$$

$$M_п = M_н \cdot K_п = 294 \cdot 1,6 = 470 \quad Н \cdot м$$

$$M_{max} = M_н \cdot K_{max} = 294 \cdot 2,4 = 705 \quad Н \cdot м$$

$$M_{min} = M_н \cdot K_{min} = 294 \cdot 1,4 = 412 \quad Н \cdot м$$

5 Пусковой ток при снижении напряжения на 10% также снизится на 10%.

$$I'_п = 0,9 \cdot I_п = 0,9 \cdot 387 = 348 \; А$$

6 Пусковой, максимальный и минимальный моменты зависят от квадрата напряжения

$$M'_п = 0,9^2 \cdot M_п = 0,81 \cdot 470 = 381 \quad Н \cdot м$$

$$M'_{max} = 0,9^2 \cdot M_{max} = 0,81 \cdot 705 = 571 \quad Н \cdot м$$

$$M'_{min} = 0,9^2 \cdot M_{min} = 0,81 \cdot 412 = 334 \quad Н \cdot м$$

Моменты снизятся на 19%.

7 Момент холостого хода

$$M_0 = 9550 \frac{P_{тех} + P_{доб}}{n_н} = 9550 \frac{0,6 + 0,167}{975} = 7,5 \quad Н \cdot м$$

где, механические потери принимаем 2% от $P_н$

$$P_{тех} = 0,02 \cdot P_н = 0,02 \cdot 30 = 0,6 \; кВт$$

добавочные потери составляют 0,5% от P_1

$$P_{доб} = 0,005 \cdot P_1 = 0,005 \cdot 33,33 = 0,167 \quad кВт$$

8 Электромагнитный момент определяется из уравнения моментов

$$M = M_и + M_0 = 294 + 7,5 = 301,5 \quad Н \cdot м$$

При изучении темы 2.5. опять таки обратите внимание, что при пуске асинхронного двигателя с понижением напряжения уменьшается пусковой ток, но одновременно в квадратичной зависимости уменьшается и пусковой момент. Например, при пуске переключением со звезды на треугольник линейный пусковой ток уменьшается в 3 раза, пусковой момент также уменьшается в 3 раза. Поэтому методы пуска при пониженном напряжении применяются для легких пусков. Уменьшить пусковой ток при одновременном увеличении пускового момента можно увеличив активное сопротивление цепи ротора в момент пуска, что достигается в двигателях с фазным ротором с помощью пускового реостата и естественным путем у двигателей с глубоким пазом или с двойной беличьей клеткой (тема 2.6).

Трудность эффективного регулирования частоты вращения – один из основных недостатков асинхронного двигателя. Обратите внимание на принцип частотного регулирования, который, в связи с развитием электронной техники, находит все большее применение.

В автоматике и бытовой технике широко применяются однофазные и двухфазные асинхронные двигатели, а при необходимости получения частоты вращения свыше 3000 об/мин при частоте тока 50 Гц применяют однофазные коллекторные двигатели (тема 2.7.).

Среди новых разработок важное место занимают бесконтактные вентильные двигатели, в которых щеточно-коллекторный узел заменен электронным коммутатором, который в свою очередь управляется сигналами датчика положения ротора.

Пример 6. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором включен в сеть с напряжением U_c = 380 В частотой f = 50 Гц и имеет следующие фазные параметры: число витков статорной обмотки W_1 = 180 и обмоточный коэффициент $К_{об1}$ = 0,94; для фазного ротора W_2 = 70, $К_{об2}$ = 96, r_2 = 0,14 Ом, X_2 = 0,48 Ом. Обмотки статора и ротора соединены звездой.

Определить э.д.с. E_1 и E_2 фазных обмоток статора и ротора и ток $I_{2п}$ при неподвижном роторе; частоту тока f_2, э.д.с. E_{2S} и ток I_2 при вращении ротора со скольжением S = 2,67%; магнитный поток статора.

Падение напряжения в обмотках статора принять 8%.

Решение

1 Э.д.с. разной обмотки статора при падении напряжения в ней 8%

$$E_1 = 0,92 \frac{U_л}{\sqrt{3}} = 0,92 \frac{380}{1,73} = 202 \quad В$$

2 Коэффициент трансформации э.д.с.

$$K_e = \frac{W_1 \cdot K_{об1}}{W_2 \cdot K_{об2}} = \frac{180 \cdot 0,94}{70 \cdot 0,96} = 2,52$$

3 Э.д.с. и ток в неподвижном роторе

$$E_2 = \frac{E_1}{K_e} = \frac{202}{2,52} = 80 \quad В$$

$$I_{2n} = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}} = \frac{80}{\sqrt{0,14^2 + 0,48^2}} = 160 \quad А$$

4 Магнитный поток статора определяется из формулы э.д.с.

$$E_1 = 4,44 \cdot Ф \cdot f \cdot W_1 \cdot K_{об1}$$

$$Ф = \frac{E_1}{4,44 \cdot f \cdot W_1 \cdot K_{об1}} = \frac{202}{4,44 \cdot 50 \cdot 180 \cdot 0,94} = 0,0054 \quad Вб$$

5 Э.д.с. и частота тока вращающегося ротора зависят от скольжения

$$E_{2S} = E_2 \cdot S = 80 \cdot \frac{2,67}{100} = 2,14 \quad В$$

$$f_2 = f_1 \cdot S = 50 \cdot 0,0267 = 1,34 \quad Гц$$

6 Ток вращающегося ротора

$$I_2 = \frac{E_{2S}}{Z_{2S}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{S}\right)^2 + x_2^2}} = \frac{80}{\sqrt{\left(\frac{0,14}{0,0267}\right)^2 + 0,48^2}} 15,2 \quad А$$

Вопросы для самоконтроля по разделу 2

1 Назовите достоинства и недостатки асинхронных двигателей.

2 Определите скольжение восьмиполюсного асинхронного двигателя, если частота вращения ротора 735 об/мин. Чему будет равно скольжение, если ротор вращать против поля с той же частотой вращения?

3 Напишите ряд стандартных синхронных частот вращения при частоте тока 50 и 60 Гц.
4 Что называется частотой скольжения и как она определяется?
5 Э.д.с. в обмотке неподвижного ротора равна 68 В. Определите э.д.с. ротора при скольжении 3%.
6 Напишите формулу для тока в обмотке вращающегося ротора.
7 Почему ток холостого хода асинхронного двигателя значительно больше тока холостого хода трансформатора?
8 Напишите формулу электромагнитного момента асинхронного двигателя.
9 Начертите механическую характеристику асинхронного двигателя и укажите ее характерные участки и точки.
10 При напряжении 380 В асинхронный двигатель развивает момент 60 Н·м. Чему будет равен момент при напряжении 304 В?
11 Что называется перегрузочной способностью асинхронного двигателя?
12 Начертите семейство механических характеристик асинхронного двигателя при различном напряжении сети.
13 Начертите семейство искусственных механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором.
14 Каковы особенности конструкции асинхронных короткозамкнутых двигателей с повышенным пусковым моментом?
15 Какие схемы пуска асинхронных двигателей Вам известны?
16 В щитке двигателя указано напряжение 220/380В. Как должны быть соединены его обмотки при напряжении сети 380В? Возможен ли пуск данного двигателя переключением со звезды на треугольник?
17 Какими способами можно регулировать частоту вращения асинхронных двигателей?
18 Какие схемы соединения обмоток применяются в асинхронных двигателях на две, три и четыре частоты вращения?
19 Каковы последствия исчезновения фазы и трехфазного асинхронного двигателя?
20 Чем отличаются однофазные и конденсаторные асинхронные двигатели?
21 При каких условиях асинхронный двигатель может перейти в генераторный режим?
22 Какие типы роторов применяются в исполнительных асинхронных двигателях?
23 Каковы особенности работы коллекторных двигателей на переменном токе?
24 Что представляют собой вентильные двигатели переменного тока?
25 С какой целью для электроприводов ручного электрифицированного инструмента применяют ток повышенной частоты 200 и 400 Гц?

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

3.1 Общие сведения о синхронных машинах

Основные определения синхронных машин. Назначение и принцип действия синхронных генераторов. Синхронные машины обращенного исполнения. Устройство синхронных машин и основные элементы конструкции: статор, типы роторов, возбудитель или выпрямитель, явнополюсные и неявнополюсные синхронные машины. Понятие о современных турбо- и гидрогенераторах. Автотракторные генераторы переменного тока. Зависимость частоты тока от частоты вращения.

3.2.Способы возбуждения и схемы синхронных генераторов.

Возбуждение синхронных генераторов. Схемы синхронных генераторов с машинным возбуждением, возбуждение от полупроводниковых и механических выпрямителей.

Лабораторная работа. Сборка схем, возбуждение генераторов, регулирование напряжения и частоты тока. Снятие и построение характеристики холостого хода.

3.3 Обмотки машин переменного тока

Основные элементы обмоток статора. Расчет основных параметров. Однофазные и трехфазные обмотки. ЭДС фазы обмотки статора. Обмоточный коэффициент.

Условия создания вращающегося магнитного поля при помощи трехфазной и двухфазной систем тока.

Практическое задание. Расчет и вычерчивание развернутых схем двухслойных трехфазных обмоток с полным и укороченным шагом. Выявление магнитных полюсов и определение обмоточного коэффициента.

3.4 Реакция якоря синхронного генератора

Реакция якоря синхронного генератора при активной, индуктивной, емкостной и смешанной нагрузках. Влияние реакции якоря на работу синхронного генератора.

3.5 Характеристики холостого хода и короткого замыкания синхронного генератора

Характеристики холостого хода и короткого замыкания. Система относительных единиц. Нормальная характеристика холостого хода. Отношение короткого замыкания. Внешние и регулировочные

характеристики при различном характере нагрузки. Изменение напряжения генератора.

Лабораторная работа. Снятие характеристик синхронного генератора. Определение отношения короткого замыкания

3.6 Параллельная работа синхронных генераторов

Необходимость и условия включения синхронных генераторов на параллельную работу. Способы точной синхронизации. Самосинхронизация. Параллельная работа синхронных генераторов на мощную сеть. Электромагнитная и синхронизирующая мощность. Регулирование активной и реактивной мощностей. Колебания синхронных машин и меры их уменьшения.

Лабораторная работа (выполняется в учебном заведении). Включение синхронных генераторов на параллельную работу методами точной синхронизации и самосинхронизации. Регулирование активной и реактивной мощности

3.7 Синхронные двигатели и компенсаторы

Принцип действия синхронного двигателя. Угловые характеристики и U-образные кривые. Рабочие характеристики. Способы пуска синхронных двигателей. Достоинства, недостатки и применение синхронных двигателей.

Синхронный компенсатор: назначение и принцип действия.

Потери и коэффициент полезного действия синхронных машин.

3.8 Синхронные машины малой мощности

Реактивный синхронный двигатель. Гистерезисный синхронный двигатель. Реактивно-гистерезисный двигатель. Шаговый (импульсный) двигатель. Синхронные двигатели с электромагнитной редукцией скорости (редукторные).

Лабораторная работа. Сборка схем, пуск, изменение направления вращения синхронных машин малой мощности

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛУ 3

Синхронными называются электрические машины переменного тока, у которых частота вращения ротора совпадает с частотой вращения магнитного поля статора и не зависит от нагрузки.

Основная формула синхронных машин

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

где f – частота тока,

p – число пар полюсов.

Как и другие виды электрических машин, синхронные машины обратимы, т.е. могут работать в режимах генератора и двигателя. Кроме того, синхронные машины используются в качестве синхронных компенсаторов.

Синхронные машины – наиболее сложные для изучения, так как в их работе участвуют два рода тока: ток статора переменный, а для возбуждения нужен постоянный ток. Отсюда вытекает сложность их устройства, эксплуатации, а для двигателей и сложность пуска в ход.

В теме 3.2. изучаются схемы синхронных генераторов небольшой мощности передвижных и резервных электростанций сельскохозяйственного назначения. Для питания обмотки возбуждения постоянным током в них используется небольшой генератор постоянного тока (машинный возбудитель) либо полупроводниковые (твердые) выпрямители.

В теме 3.3. изучаются обмотки статора синхронных и асинхронных машин переменного тока. Прежде, чем производить расчет обмоточных данных, необходимо повторить тему 1.2. и хорошо усвоить определения основных элементов обмотки: полюсное деление, полюс; катушка, катушечная группа, число пазов на полюс и фазу, фазовый шаг.

Необходимо обратить внимание на то, что распределением обмотки статора по пазам и укорочением шага улучшается форма кривой э.д.с. генератора и м.д.с. двигателя. Однако это приводит к уменьшению э.д.с., что учитывается обмоточным коэффициентом, который определяется произведением коэффициентов укорочения и распределения.

Особое внимание следует обратить на способы и условия создания вращающегося магнитного поля статора. Для этого в статоре располагают не менее двух обмоток, имеющих пространственное смещение. М.д.с. этих обмоток должны быть смещены во времени, то есть по фазе. Для получения кругового вращающегося магнитного поля в статоре трехфазных машин размещают три обмотки, смещенные в пространстве на 120 электрических градусов. Токи в этих обмотках должны быть смещены во времени на 1/3

периода (120 градусов по фазе), а м.д.с. обмоток должны быть равны $I_A \cdot W_A = I_B \cdot W_B = I_C \cdot W_C$.

В двухфазных и однофазных машинах в статоре размещают две обмотки, смещенные в пространстве на 90 электрических градусов. Токи в этих обмотках должны быть смещены во времени на ¼ периода (90 градусов по фазе), а м.д.с. обмоток равны $I_A \cdot W_A = I_B \cdot W_B$.

Если же эти условия выполняются частично, то вращающееся поле становится эллиптическим, которое содержит основную прямо вращающую составляющую и обратно вращающуюся, которая ухудшает эксплуатационные свойства электрических машин, а в двигателях создает тормозной момент.

Пример 4. Рассчитать, составить обмоточную таблицу и развернутую схему трехфазной двухслойной петлевой обмотки с укороченным шагом: *Z=24, 2 = 4*.

Решение:

1 Полюсное деление

$$\tau = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

2 Шаг обмотки укороченный

$$У \approx 0{,}8 \cdot \tau = 0{,}8 \cdot 6 = 4{,}8$$

Принимаем *У = 5*

3 Число пазов на полюс и фазу (число катушек в катушечной группе)

$$q = \frac{z}{2p \cdot m} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

4 Число электрических градусов на один паз

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{z} = \frac{360 \cdot 2}{24} = 30 \quad град.эл.$$

5 Фазовый шаг

$$У_ф = \frac{120}{\alpha} = \frac{120}{30} = 4$$

Начало первой катушки укладываем в паз 1 (рис.5), а конец в нижнюю часть паза 6, так как у =5 (1+5+6). Поскольку q = 2 рядом укладываем вторую катушку в пазы 2-7′.

q катушек, расположенных рядом друг с другом образуют катушечную группу. В нашем случае катушечная группа состоит из двух катушек. Для двухслойных обмоток количество катушечных групп в каждой фазе равно количеству полюсов 2р. Каждая следующая группа катушек начинается через полюсное деление τ от конца предыдущей в том же слое, в котором заканчивается предыдущая. Следовательно, вторая катушечная группа начинается в 13-м пазу: $7' + \tau = 7' + 6 = 13'$. Первую группу катушек укладывают по часовой стрелке, вторую – против часовой стрелки, то есть в обратном направлении, третью - по часовой стрелке и т.д. Так как в нашем примере 2р = 4, то каждая фаза состоит из четырех катушечных групп. Вторая и третья фаза выполняются аналогично со смещением на фазовый шаг $У_ф = 4$.

Для облегчения вычерчивания развернутой схемы составляем обмоточную таблицу.

фаза А	фаза В	фаза С
1-6′, 2-7′	5-10′, 6-11′	9-14′, 10-15′
13′-8, 12′-7	17′-12, 16′-11	21′-16, 20′-15
13-18′, 14-19′	17-22′, 18-23′	21-2′, 22-3′
1′-20, 24′-19	5′-24, 4′-23	9′-4, 8′-3

Для выявления полюсов магнитного поля задаемся векторной диаграммой фазных токов для произвольно выбранного момента времени.

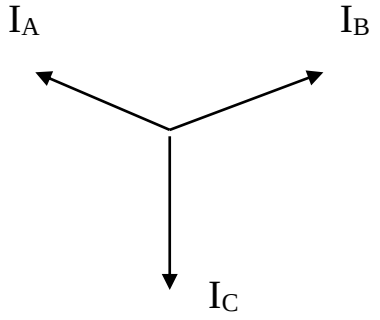

Рисунок 4 - Векторная диаграмма токов

По направлению векторов расставляются направления токов в фазах обмотки. За положительное принимают направление тока от начала фазы к ее концу, за отрицательное – от конца фазы к началу. Расставив направления токов в фазах на развернутой схеме, определяем полюса магнитного поля.

Полюсом называется часть пространства внутри статора, охватывающее рядом лежащие пазы, проводники которых в данный момент времени имеют одинаковое направление тока.

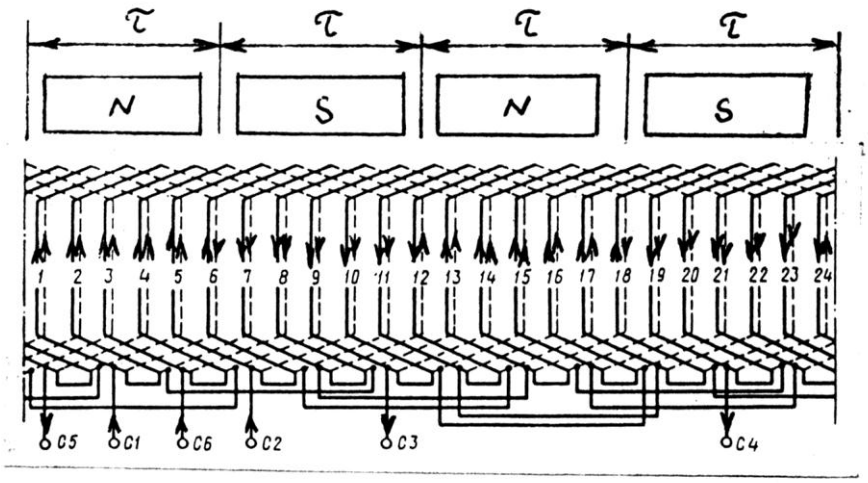

Рисунок 5- Развернутая схема трехфазной двухслойной обмотки с укороченным шагом:
Z = 24, 2p = 4, y = 5

Вопрос реакции якоря синхронного генератора (тема 3.4.) имеет много общего с реакцией якоря машин постоянного тока. Но, если для машин постоянного тока влияние реакции якоря на работу машины зависит только от венличины нагрузки, то для синхронных генераторов кроме величины нагрузки реакция якоря зависит и от характера нагрузки (активная, индуктивная, емкостная, смешанная). Этими же факторами определяется вид внешних и регулировочных характеристик синхронного генератора (тема 3.5.).

Как правило, на электростанциях синхронные генераторы работают параллельно (тема 3.6.). Здесь необходимо изучить условия и способы включения синхронных генераторов на параллельную работу, регулирование активной и реактивной мощности.

Если нагрузка синхронной машины превысит критическое значение (угол θ выше критического), машина выпадает из синхронизма. Это тяжелый аварийный режим, при котором наблюдается электрические и механические толчки, сопровождающиеся пульсирующим гулом в такт толчкам.

Также необходимо уяснить, что недовозбужденная синхронная машина является потребителем реактивной энергии, а перевозбужденная машина генерирует в сеть реактивную энергию.

При изучении синхронных двигателей и компенсаторов (тема 3.7.) следует обратить внимание на особенности их пуска и работы.

В теме 3.8. следует изучить отличие каждой машины малой мощности от синхронных машин общего назначения и область их применения.

Вопросы для самоконтроля по разделу 3

1 Запишите основную формулу синхронных машин.
2 Каковы особенности конструкции и работы турбогенераторов и гидрогенераторов?
3 Какие типы обмоток применяются в статорах машин переменного тока?
4 Что называется полюсом статора машины переменного тока?
5 Запишите формулу э.д.с. фазы обмотки статора и поясните сущность обмоточного коэффициента.
6 Каковы условия создания вращающегося магнитного поля однофазных и трехфазных машин?
7 Что представляет собой нормальная характеристика холостого хода? Для чего ее используют?
8 Как определяется коэффициент о.к.з. синхронного генератора?
9 Как изменяется напряжение синхронного генератора при различном характере нагрузки?
10 Как регулируют частоту тока и напряжение синхронных генераторов?
11 Перечислите условия включения синхронных генераторов на параллельную работу.
12 Как включают на параллельную работу синхронные генераторы методом точной синхронизации?
13 В чем сущность способа самосинхронизации.
14 Как регулируют активную и реактивную мощность при параллельной работе синхронных генераторов?
15 Назовите достоинства, недостатки и область применения синхронных двигателей.
16 Какова роль синхронных компенсаторов?
17 Почему возникают колебания синхронных машин и меры их уменьшения?
18 Поясните устройство и принцип действия реактивного синхронного двигателя.
19 Поясните устройство и принцип действия гистерезисного двигателя.
20 Поясните устройство и принцип действия шагового (импульсного) двигателя.

4. ТРАНСФОРМАТОРЫ

4.1 Общие сведения о трансформаторах

Назначение, классификация и принцип действия трансформаторов. Коэффициент трансформации. Общее устройство силовых трансформаторов, их типы и паспортные данные.

4.2 Элементы конструкций трансформаторов

Устройство элементов конструкций трансформаторов: магнитопровода, обмоток, баков, вводов, устройств охлаждения, воздухоосушителей, фильтров, аппаратуры защиты. Переключатели для регулирования напряжения ПБВ и РПН. Особенности конструкций трансформаторов с витым магнитопроводом и с симметрирующим устройством.

Лабораторная работа. Выполнение сборки и разборки трансформатора, определение и обозначение начала и конца обмотки

4.3. Схемы замещения трансформатора

Понятие о приведенном трансформаторе. Формулы приведения. Схемы замещения приведенного трансформатора. Векторные диаграммы.

4.4. Рабочий процесс трансформатора

Режим холостого хода. Опыт холостого хода и его практическое значение. Работа трансформатора при нагрузке. Режим короткого замыкания. Опыт короткого замыкания и его практическое значение. Эксплуатационные показатели трансформатора: изменение вторичного напряжения и коэффициент полезного действия. Регулирование напряжения трансформатора.

Практическое задание. Определение параметров двухобмоточного трансформатора при решении задач.

Лабораторная работа. Определение параметров и снятие характеристик холостого хода и короткого замыкания трансформатора

4.5 Схемы и группы соединений обмоток трансформаторов.

Схемы соединений обмоток трехфазных трансформаторов: звезда, треугольник, зигзаг. Понятие о началах и концах обмоток, направление э.д.с. и векторные диаграммы э.д.с. первичной и вторичной обмоток различных групп соединений. Искажение фазных напряжений при неравномерной нагрузке фаз у трансформаторов с различными схемами

соединений обмоток. Область применения различных схем и групп соединений.

Лабораторная работа. Исследование трехфазного трансформатора, сборка различных схем соединений, определение коэффициента трансформации и групп соединений при различных схемах методом двух вольтметров.

4.6 Параллельная работа трансформаторов.

Необходимость и условия включения трансформаторов на параллельную работу. Явления, возникающие в трансформаторах при несоблюдении условий включения на параллельную работу.

Особенности фазировки трансформаторов с изолированной и заземленной нейтралью.

Лабораторная работа. Включение трансформаторов на параллельную работу. Фазировка и работа под нагрузкой.

4.7 Специальные типы трансформаторов.

Автотрансформаторы: принцип действия, схемы, соотношения токов и мощностей, достоинства и недостатки, применение. Вольтодобавочные трансформаторы и их применение. Сварочные трансформаторы и трансформаторы для выпрямительных установок. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Трехобмоточные трансформаторы. Трансформаторы для преобразования формы кривой э.д.с.

Лабораторная работа. Ознакомление с конструкциями специальных типов трансформаторов. Сборка схем и исследование автотрансформатора, измерительных трансформаторов, вольтодобавочных трансформаторов.

Методические указания к разделу 4

Раздел 4. Трансформатор, должен быть изучен наиболее полно. Трансформаторы относятся к электромагнитным аппаратам, так как в них отсутствуют вращающиеся части. Поэтому к.п.д. трансформатора очень высок по сравнению с к.п.д. вращающихся машин и достигает 99%. Также отсутствует воздушный зазор между статором и ротором, что приводит к уменьшению тока намагничивания, т.е. тока холостого хода. Так как ток холостого хода I_0 почти чисто индуктивный, то при холостом ходе трансформатор имеет очень низкий коэффициент мощности $\cos\varphi_0$.

При изучении принципа действия трансформатора (тема 4.1.) необходимо обратить внимание на физическую сущность э.д.с., индуктируемых в обмотках трансформатора. В первичной обмотке индуктируется э.д.с. самоиндукции, которая почти уравновешивает подведенное напряжение

$$U_1 \approx E_1 = 4{,}44 \cdot \Phi_м \cdot f \cdot W_1$$

где f – частота тока, Гц;

W_1 – число витков первичной обмотки.

А во вторичной обмотке индуктируется э.д.с. взаимной индукции, которая определяет напряжение на зажимах и вызывает ток нагрузки

$$U_2 \approx E_2 = 4{,}44 \cdot \Phi_м \cdot f \cdot W_2$$

где W_2 – число витков вторичной обмотки.

Обратите внимание на равенство э.д.с. в одном витке первичной и вторичной обмотки. Если при данном первичном напряжении изменить число витков первичной обмотки (например уменьшить), то изменится магнитный поток и э.д.с. одного витка (в нашем примере эти параметры увеличатся). Следовательно, изменится и э.д.с. одного витка вторичной обмотки и напряжение на зажимах (увеличатся).

Для практической работы необходимо усвоить два вида переключения числа витков обмотки высшего напряжения: ПБВ (переключение без возбуждения) и РПН (регулирование под нагрузкой).

В сельскохозяйственной электрификации наибольшее применение получили трехфазные трансформаторы типов ТМ, ТМН, ТМВМ (с витым пространственным магнитопроводом), ТМС (с симметрирующим устройством), ТМГ (герметичные с гофрированным баком). Шкала номинальных мощностей построена по математическому ряду $R5 = \sqrt[5]{10} \approx 1{,}6$, т.е. 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, и т.д. кВА.

Для облегчения анализа работы трансформатора и для упрощения расчетов при определении его параметров большое значение имеет применение схем замещения (тема 2.3), на которых магнитная связь между первичной и вторичной обмоткой заменяется электрической связью.

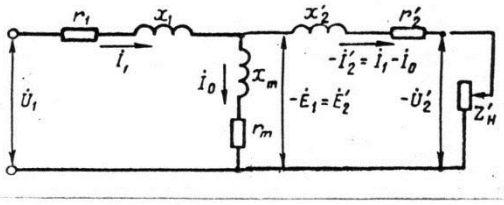

Рисунок 3- Схема замещения приведенного трансформатора

Схема замещения трансформатора составляется после «приведения» вторичной обмотки к первичной, т.е. после замены реального трансформатора условным «приведенным» трансформатором.

Для трехфазных трансформаторов схема замещения строится из расчета на одну фазу.

На рис.3 дана схема замещения трансформатора для режима нагрузки. Используя эту схему, нетрудно составить схемы замещения для других режимов, например, для опытов холостого хода и короткого замыкания.

Изучая тему 4.4. следует твердо усвоить, что магнитный поток в сердечнике трансформатора не зависит от нагрузки. Отсюда вытекает уравнение м.д.с. трансформатора и свойство саморегулирования

$$I_0 \cdot W_1 = I_1 \cdot W_1 + I_2 \cdot W_2$$

где: $I_0 \cdot W_1$ – магнитодвижущая сила первичной обмотки при холостом ходе, А;

$I_1 \cdot W_1$, $I_2 \cdot W_2$ - магнитодвижущие силы первичной и вторичной обмотки при нагрузке, А.

При изменениях вторичного тока автоматически изменяется и потребляемый первичный ток.

Следует также внимательно изучить методику проведения опытов холостого хода и короткого замыкания и их практическое значение. По результатам опытов холостого хода и короткого замыкания определяется ряд важных параметров трансформатора: потери холостого хода и короткого замыкания, напряжение короткого замыкания, ток холостого хода и параметры схемы замещения. Обычно потери короткого замыкания распределяются между первичными и вторичными обмотками поровну. Поэтому

$$r_1 = r_2^1 = \frac{r_к}{2} \quad ; \quad x_1 = x_2^1 = \frac{x_к}{2}$$

где r_1, x_1 – активное и индуктивное сопротивление первичной обмотки, Ом;

r_2^1, x_2^1 - приведенное активное и индуктивное сопротивление вторичной обмотки, Ом;

$r_к$, $x_к$ – активное и индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом.

Параметры намагничивающей ветви для трехфазного трансформатора

$$Z_m = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3} \cdot I_0} \quad ; \quad r_m = Z_m \cdot \cos\varphi_0 \quad ; \quad X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2}$$

где Z_m, r_m, X_m – полное, активное и индуктивное сопротивление намагничивающей ветви, Ом.

Необходимо хорошо усвоить, что к.п.д. трансформатора зависит от нагрузки и достигает максимального значения при равенстве переменных потерь (в меди) и постоянных потерь (потерь в стали), что соответствует оптимальному коэффициенту нагрузки

$$K_{нгопт} = \sqrt{\frac{P_o}{P_к}}$$

где P_0, $P_к$ – потери холостого хода и потери короткого замыкания, Вт.

Пример 3. Силовой трансформатор ТМ 100/35 имеет номинальное вторичное напряжение $U_{2н}$= 400 В, напряжение короткого замыкания $u_к$ = 6,5%, потери холостого хода P_0 = 465 Вт, потери короткого замыкания 1970 Вт, схема и группа соединения обмоток: звезда/звезда с нулевым выводом – 0.

Определить: 1) токи в обмотках трансформатора при заданной нагрузке; 2) напряжение на зажимах; 3) коэффициент полезного действия, если коэффициент нагрузки $К_{нг}$ = 0,9 и коэффициент мощности $\cos\varphi_2$ =0,8; 4) параметры короткого замыкания.

Решение:

ТМ100/35 – трехфазный трансформатор с естественным масляным охлаждением с переключением без возбуждения (ПБВ), полная номинальная мощность $S_н$ = 100 кВА, высшее напряжение $U_{1н}$ = 35 кВ.

1. Токи в обмотках трансформатора при заданной нагрузке

$$I_1 = \frac{K_{нг} \cdot S_н}{\sqrt{3} \cdot U_{1н}} = \frac{0,9 \cdot 100}{1,73 \cdot 35} = 1,49 \quad A$$

$$I_2 = \frac{K_{нг} \cdot S_н}{\sqrt{3} \cdot U_{2н}} = \frac{0,9 \cdot 100}{1,73 \cdot 0,4} = 131 \quad A$$

2. Напряжение на зажимах:

2.1 Активная составляющая напряжения короткого замыкания

$$u_{ка} = \frac{P_к}{10 \cdot S_н} = \frac{1970}{10 \cdot 100} = 1,97\ \%$$

2.2 Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания

$$u_{кр} = \sqrt{u_к^2 - u_{ка}^2} = \sqrt{6,5^2 - 1,97^2} = 6,17\ \%$$

2.3 Изменение вторичного напряжения

$$\Delta u = K_{нг} \cdot (u_{ка} \cdot \cos\varphi_2 + u_{кр} \cdot \sin\varphi_2) = 0,9 \cdot (1,97 \cdot 0,8 + 6,17 \cdot 0,6) = 4,75\ \%$$

где: $\sin\varphi_2$ определяется по значению $\cos\varphi_2$.

2.4 Напряжение на зажимах

$$U_2 = U_{2н} - \frac{\Delta u}{100} \cdot U_{2н} = 400 - \frac{4,75}{100} \cdot 400 = 381 \quad B$$

3 Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{K_{нг} \cdot S_н \cdot \cos\varphi_2}{K_{нг} \cdot S_н \cdot \cos\varphi_2 + K_{нг}^2 \cdot P_к + P_0} = \frac{0,9 \cdot 100 \cdot 0,8}{0,9 \cdot 100 \cdot 0,8 + 0,9^2 \cdot 1,97 + 0,465} = 0,965$$

4 Параметры короткого замыкания

4.1 Ток опытного короткого замыкания

$$I_к = I_{1н} = \frac{S_н}{\sqrt{3} \cdot U_{1н}} = \frac{100}{1,73 \cdot 35} = 1,65 \quad A$$

4.2 Активное сопротивление короткого замыкания

$$r_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_K^2} = \frac{1970}{3 \cdot 1,65^2} = 242 \quad Ом$$

4.3 Фазное напряжение короткого замыкания

$$U_{кф} = \frac{u_K \cdot U_{1н}}{100 \cdot \sqrt{3}} = \frac{6,5 \cdot 35}{100 \cdot 1,73} \cdot 10^3 = 1320 \quad В$$

4.4 Полное сопротивление короткого замыкания

$$Z_K = \frac{U_{кф}}{I_к} = \frac{1320}{1,65} = 800 \quad Ом$$

4.5 Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2} = \sqrt{800^2 - 242^2} = 764 \quad Ом$$

Особое внимание следует обратить на изучение темы 2.5. Запомните, что группа соединений обмоток отражает угол сдвига по фазе вторичного линейного напряжения относительно первичного и зависит от: а) маркировки выводов обмоток; б) способа намотки обмоток по направлению; в) способа соединения обмоток (звезда, зигзаг, два варианта соединения треугольником). Уясните области применения различных схем и групп соединения обмоток. Обратите внимание на преимущества схем соединений звезда/звезда с симметрирующим устройством, звезда/зигзаг и треугольник/звезда при неравномерной нагрузке фаз.

Группу соединений обмоток необходимо знать для включения трансформаторов на параллельную работу (тема 2.6.).

При изучении специальных типов трансформаторов (тема 2.7.) следует уяснить преимущества, недостатки и область применения автотрансформаторов, принцип получения крутопадающих внешних характеристик и способы регулирования сварочных токов у различных типов сварочных трансформаторов, назначение и особенности работы измерительных трансформаторов, пик-трансформаторов и импульсных трансформаторов.

Вопросы для самоконтроля по разделу 4

1 Каково назначение трансформатора в процессе передачи и распределения электрической энергии?
2 Запишите формулы для определения э.д.с. обмоток.
3 Каковы последствия ошибочного включения трансформатора в цепь постоянного тока?
4 Запишите соотношения между числами витков первичной и вторичной обмоток и их линейными напряжениями для схем соединений Y/Y; Д/Y; Д/Д; Y/Д.
5 Каковы формулы для точного и приближенного определения коэффициента трансформации?
6 Зачертите схему устройства стержневого, броневого и витого магнитопровода трехфазного трансформатора.
7 В чем заключается свойство саморегулирования трансформатора?
8 Что понимается под приведенным трансформатором?
9 Как определяют потери в стали и потери в меди трансформатора?
10 Что называется напряжением короткого замыкания?
11 Почему схема замещения в опыте короткого замыкания не содержит намагничивающей ветви?
12 Как изменяется вторичное напряжение трансформатора при увеличении активно-индуктивной нагрузки? Активно-емкостной?
13 Зачертите принципиальные схемы соединений и векторные диаграммы э.д.с. Д/Y-11; Y/Д-11; Y/Y-0.
14 Перечислить условия включения трансформаторов на параллельную работу.
15 Как производится фазировка трансформаторов с изолированной и с заземленной нейтралью?
16 Как распределяется нагрузка между параллельно работающими трансформаторами при неравенстве: а) коэффициентов трансформации; б) напряжений короткого замыкания?
17 Какие схемы соединений обмоток применяются в трехобмоточных трансформаторах?
18 Каковы последствия включения трансформатора тока с разомкнутой вторичной обмоткой автотрансформаторов?

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Первая контрольная работа содержит три вопроса (таблица 1.1.) и три задачи (1.1.; 1.2.;1.3), разработанные по сто вариантной системе. Данные задач приведены соответственно в таблицах 1.2.; 1.3.; 1.4 Номера вариантов задач и контрольные вопросы выбираются по двум последним цифрам шифра.

Вопросы к контрольной работе №1 (вопросы 1…60)

1. Принцип действия генератора постоянного тока. Пульсация напряжения. Коллекторные и униполярные генераторы.
2. Устройство машин постоянного тока. Устройство и назначение их частей.
3. Характеристика серии машин постоянного тока 2П и 4П.
4. Типы якорных обмоток машин постоянного тока: принцип их выполнения, расчетные формулы, применение.
5. Электродвижущая сила обмотки якоря машины постоянного тока и способы ее регулирования.
6. Магнитная цепь машины постоянного тока.
7. Сущность реакции якоря в машинах постоянного тока.
8. Вредные последствия реакции якоря в машинах постоянного тока и способы их устранения.
9. Сущность процесса коммутации. Прямолинейная коммутация.
10. Криволинейная замедленная и ускоренная коммутация.
11. Способы улучшения коммутации.
12. Причины искрения под щетками. Круговой огонь на коллекторе.
13. Классы коммутации. Способы подавления радиопомех от коллекторных машин.
14. Способы возбуждения машин постоянного тока. Условия и процесс самовозбуждения генераторов.
15. Генератор независимого возбуждения и его характеристики.
16. Генератор параллельного возбуждения и его характеристики: характеристика холостого хода, внешняя и регулировочная.
17. Генератор смешанного возбуждения и его характеристики при согласном и встречном включении обмоток возбуждения: характеристика холостого хода, внешняя и регулировочная.
18. Устройство, принцип действия, схемы и применение тахогенераторов.
19. Электромашинный усилитель поперечного поля.
20. Принцип действия двигателя постоянного тока. Уравнение равновесия ЭДС.
21. Электромагнитный момент двигателя постоянного тока. Уравнение равновесия моментов.
22. Пуск в ход, изменение направления вращения двигателей постоянного тока.
23. Двигатель параллельного возбуждения и его характеристики.
24. Двигатель последовательного возбуждения и его характеристики.
25. Двигатель смешанного возбуждения и его характеристики.

26. Сравнительная оценка способов регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока различного возбуждения. Достоинства, недостатки, применение двигателей постоянного тока.
27. Исполнительные двигатели постоянного тока: особенности конструкций, применение, способы управления.
28. Классификация потерь в машинах постоянного тока.
29. Энергетические диаграммы двигателя и генератора постоянного тока.
30. Коэффициент полезного действия машин постоянного тока и его зависимость от нагрузки.
31. Устройство, принцип действия асинхронного двигателя, понятие о скольжении. Зависимость скольжения от нагрузки.
32. Режимы работы асинхронных машин.
33. Опыт холостого хода асинхронного двигателя: схема опыта, величина и характер тока холостого хода, потери.
34. ЭДС, частота и ток неподвижного и вращающегося ротора асинхронного двигателя.
35. Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя: схемы опыта, величина напряжения короткого замыкания, потери.
36. Векторная диаграмма асинхронного двигателя при нагрузке.
37. Схемы замещения асинхронных двигателей и их параметры.
38. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.
39. Электромагнитный момент асинхронного двигателя и его зависимость от скольжения и напряжения.
40. Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя.

Моменты: номинальный, пусковой, максимальный.

41. Механические характеристики трехфазного асинхронного двигателя при изменениях напряжения сети и активного сопротивления ротора.
42. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
43. Пусковые свойства асинхронных двигателей. Пуск асинхронных двигателей с фазным ротором.
44. Способы пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Сравнительная оценка и применение различных способов пуска.
45. Способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором. Применение и сравнительная оценка различных способов регулирования частоты вращения.
46. Асинхронный двигатель с двойной беличьей клеткой: устройство, принцип действия, достоинства, недостатки, применение.
47. Асинхронный двигатель с глубоким пазом: устройство, принцип действия, достоинства, недостатки, применение.
48. Принцип действия однофазных асинхронных двигателей. Аварийный переход трехфазных двигателей в однофазный режим.
49. Устройство, особенности пуска и работы, применение однофазных асинхронных двигателей с пусковой обмоткой.
50. Устройство, особенности пуска и работы асинхронных конденсаторных двигателей (двухфазных).

51. Использование трехфазных двигателей в качестве однофазных: схемы, особенности пуска и работы. Выбор пусковых и рабочих сопротивлений и конденсаторов.
52. Асинхронные генераторы с возбуждением от сети и с возбуждением от конденсаторов: схемы, принцип действия, применение.
53. Индукционные регуляторы и фазогенераторы: схемы, устройство, принцип действия, применение.
54. Однофазные коллекторные двигатели переменного тока: принцип действия и устройство. Универсальный коллекторный двигатель, особенности работы и применение.
55. Асинхронный двигатель с расщепленными (экранированными) полюсами: устройство, принцип работы, применение.
56. Назначение, принцип действия, устройство и схемы асинхронных исполнительных двигателей. Способы управления.
57. Электрические машины синхронной связи: устройство, принцип действия, схемы и применение.
58. Асинхронные тахогенераторы: устройство, принцип действия, схемы и применение.
59. Преобразователи частоты: устройство, принцип действия, схемы и применение.

Таблица 1.1- Распределение вопросов контрольной работы №1

Варианты	№ вопросов	Варианты	№ вопросов	Варианты	№ вопросов
01,51	1,18,31	17,67	17,21,47	34,84	17,25,34
02,52	2,19,32	18,68	16,22,48	35,85	16,26,35
03,53	3,20,33	19,69	15,23,49	36,86	15,27,36
04,54	4,21,34	20,70	14,24,50	37,87	14,28,37
05,55	5,22,35	21,71	13,25,51	38,88	13,29,38
06,56	6,23,36	22,72	12,26,52	39,89	12,30,39
07,57	7,24,37	23,73	11,27,53	40,90	11,18,40
08,58	8,25,38	24,74	10,28,54	41,91	10,19,41
09,59	9,26,39	25,75	9,29,55	42,92	9,20,42
10,60	10,27,40	26,76	8,28,56	43,93	8,21,43
11,61	11,28,41	27,77	7,18,57	44,94	7,22,44
12,62	12,29,42	28,78	6,19,58	45,95	6,24,45
13,63	13,30,43	29,79	5,20,59	46,96	5,23,31
14,64	14,18,44	30,80	4,21,30	47,97	4,25,32
15,65	15,19,45	31,81	3,22,31	48,98	3,26,33
16,66	16,20,46	32,82	2,23,32	49,99	2,27,34
		33,83	1,24,33	50,00	1,28,35

Задача 1.1 По данным таблицы 1.2. рассчитать и составить обмоточную таблицу и развернутую схему простой двухслойной обмотки якоря машины постоянного тока, расставить полюса и щетки с указанием полярности. Начертить схему параллельных ветвей. Число коллекторных пластин принять равным числу пазов якоря.

Таблица 1.2. – Исходные данные к задаче 1.1.

Варианты	Число полюсов	Число пазов	Тип обмотки
01,11,21,31,41,51,61,71,81,91	4	22	Петлевая
02,12,22,32,42,52,62,72,82,92	4	25	Волновая
03,13,23,33,43,53,63,73,83,93	6	24	Петлевая
04,14,24,34,44,54,64,74,84,94	4	21	Волновая
05,15,25,35,45,55,65,75,85,95	2	20	Петлевая
06,16,26,36,46,56,66,76,86,96	4	31	Волновая
07,17,27,37,47,57,67,77,87,97	2	18	Петлевая
08,18,28,38,48,58,68,78,88,98	6	28	Волновая
09,19,29,39,49,59,69,79,89,99	6	25	Петлевая
10,20,30,40,50,60,70,80,90,00	4	29	Волновая

Задача 1.2 Для электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения, технические данные которого указаны в таблице 1.3. определить:

1. Электромагнитный вращающий момент, полезный момент на валу и момент холостого хода.
2. Суммарные потери мощности
3. Кратность пускового тока при без реостатном прямом пуске

4. Рассчитать сопротивление пускового реостата, при котором пусковой ток якоря в 2 раза превышает номинальный ток. Чему будет равен при этом пусковой момент?
5. Вычертить схему двигателя с пускорегулирующей аппаратурой и измерительными приборами. Поясните, в каком положении и почему должны находиться рукоятки реостатов в момент пуска.

Таблица 1.3. – Исходные данные к задаче 1.2.

Варианты	Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	КПД %	Номинальое напряжение В	Частота вращения, об/мин	Сопротивление обмотки якоря, Ом	Сопротивление обмотки возбужде-ния, Ом
1	2	3	4	5	6	7	8
01,51	2ПН9ОМУЗ	0,37	61,5	110	3000	0,95	110,0
02,52	2ПН90LУЗ	0,55	67,5	110	3000	0,89	91,0
03,53	2ПН100МУЗ	0,75	71,5	110	3000	0,59	91,0
04,54	2ПН100LУЗ	1,1	74,0	110	3000	0,40	59,0
05,55	2ПН112МУЗ	1,5	70,0	110	3000	0,28	40,0
06,56	2ПН112LУЗ	2,2	75,0	110	3000	0,20	33,0
07,57	2ПН132МУЗ	4,0	79,0	110	3000	0,12	30,0
08,58	2ПН132LУЗ	5,5	80,5	110	3000	0,07	17,0
09,59	2ПН160МУЗ	7,5	83,0	110	3000	0,06	16,0
10,60	2ПН160LУЗ	11,4	85,5	110	3000	0,045	13,0
11,61	2ПН90МУЗ	0,37	61,5	220	3000	3,65	400
12,62	2ПН90LУЗ	0,55	67,5	220	3000	2,76	367
13,63	2ПН100МУЗ	0,75	71,5	220	3000	2,34	367
14,64	2ПН100LУЗ	1,1	74,0	220	3000	1,53	244
15,65	2ПН112МУЗ	1,5	70,0	220	3000	1,09	157
16,66	2ПН112LУЗ	2,2	76,0	220	3000	0,81	133
17,67	2ПН132МУЗ	4,0	79,0	220	3000	0,47	92

Продолжение таблицы 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8
18,68	2ПН132LУЗ	5,5	80,5	220	3000	0,31	67
19,69	2ПН160МУЗ	7,5	83,0	220	3000	0,25	63
20,70	2ПН160LУЗ	11,0	85,5	220	3000	0,19	49
21,71	2ПН90МУЗ	0,37	61,5	110	1500	0,95	110,0
22,72	2ПН90LУЗ	0,55	67,5	110	1500	0,69	91
23,73	2ПН100МУЗ	0,75	71,5	110	1500	0,59	91
24,74	2ПН100LУЗ	1,1	74,0	110	1500	0,40	59
25,75	2ПН112МУЗ	1,5	70,0	440	3000	4,46	628
26,76	2ПН112LУЗ	2,2	75,0	440	3000	3,05	518
27,77	2ПН132МУЗ	4,0	79,0	440	3000	1,89	367
28,78	2ПН132LУЗ	5,5	80,5	440	3000	1,15	284
29,79	2ПН160МУЗ	7,5	83,0	440	3000	1,06	251
30,80	2ПН160LУЗ	11,0	85,5	440	3000	0,77	222
31,81	2ПН90МУЗ	0,37	61,5	110	1000	0,95	110
32,82	2ПН90LУЗ	0,55	67,5	110	1000	0,69	91
33,83	2ПН100МУЗ	0,75	71,5	110	1000	0,59	91
34,84	2ПН100LУЗ	1,1	74,0	110	1000	0,40	59
35,85	2ПН112МУЗ	1,5	70,0	220	1500	1,09	116
36,86	2ПН112LУЗ	2,2	75,0	220	1500	0,81	122
37,87	2ПН132МУЗ	4,0	79,0	220	1500	0,47	92
38,88	2ПН132LУЗ	5,5	80,5	220	1500	0,31	67
39,89	2ПН160МУЗ	7,5	83,0	220	1500	0,25	63
40,90	2ПН160LУЗ	11,0	85,5	220	1500	0,19	49
41,91	2ПН90МУЗ	0,37	61,5	220	1000	3,65	400
42,92	2ПН90LУЗ	0,55	67,5	220	1000	2,76	367
43,93	2ПН100МУЗ	0,75	71,5	220	1000	2,34	367
44,94	2ПН100LУЗ	1,1	74,0	220	1000	1,53	244
45,95	2ПН112МУЗ	1,5	70,0	440	1500	4,46	628
46,96	2ПН112LУЗ	2,2	75,0	440	1500	3,05	518
47,97	2ПН132МУЗ	4,0	79,0	440	1500	1,89	367
48,98	2ПН132LУЗ	5,5	80,5	440	1500	1,15	284
49,99	2ПН160МУЗ	7,5	83,0	440	1500	1,06	251
50,00	2ПН160LУЗ	11,0	85,5	440	1500	0,77	222

Задача 1.3 Для асинхронного двигателя, данные которого указаны в таблице 1.4. определить:

1. Номинальную частоту вращения.
2. Номинальный и пусковой ток
3. Полезный момент на валу двигателя, момент холостого хода и электромагнитный момент
4. Пусковой, максимальный и минимальный моменты.
5. Возможен ли запуск двигателя при снижении напряжения в сети на 20%, если момент сопротивления $M_{ст} = M_н$ = пост?
6. Пусковой ток при снижении напряжения на 20%
7. Возможна ли работа двигателя при снижении напряжения на 20%, если момент сопротивления $M_{ст} = M_н$ = пост?
8. Ориентировочно по 4 точкам: $S = 0$, $S_н$, $S_к$, $S_п = 1$ – построить механические характеристики $M = f(S)$ при номинальном и пониженном на 20% напряжении. Напряжение сети 380 В, частота тока 50 Гц.

Таблица 1.4 – Исходные данные к задаче 1.3

Варианты	Типоразмер двигателя	Мощность кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_п}{M_н}$	$\frac{M_{max}}{M_н}$	$\frac{M_{min}}{M_н}$	$\frac{I_п}{I_н}$
			скольжение %	КПД %	cos φ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01,51	АИР71А2У3	0,75	6	78,5	0,83	2,1	2,2	1,6	6
02,52	АИР80В2У3	2,2	5	83	0,87	2	2,2	1,6	7
03,53	АИРХ112М2У3	7,5	3,5	87,5	0,88	2	2,2	1,6	7,5
04,54	АИР132М2У3	11	3	88	0,9	1,6	2,2	1,2	7,5
05,55	АИРХ160М2У3	18,5	3	89,5	0,9	1,8	2,7	1,7	7
06,56	АИР180S2У3	22	2,7	89,5	0,88	1,7	2,7	1,6	7
07,57	АИР180М2У3	30	2,5	90,5	0,88	1,7	2,7	1,6	7,5

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
08,58	АИР71А4У3	0,55	9,5	70,5	0,7	2,3	2,2	1,8	5
09,59	АИР71В4У3	0,75	10	73	0,73	2,2	2,2	1,6	5
10,60	АИРХ112М4У3	5,5	4,5	87,5	0,88	2	2,2	1,6	7
11,61	АИР132М4У3	11	3,5	87,5	0,87	2	2,2	1,6	7,5
12,62	АИРХ160S4У3	15	3	89,5	0,89	1,9	2,9	1,8	7
13,63	АИР160М4У3	18,5	3	90	0,89	1,9	2,9	1,8	7
14,64	АИР180S4У3	22	2,5	90	0,87	1,5	2,4	1,3	6,5
15,65	АИР180М4У3	30	2	91,5	0,86	1,7	2,7	1,6	7
16,66	АИР71А6У3	0,37	8,5	65	0,66	2	2,2	1,6	4,5
17,67	АИР71В6У3	0,55	8,5	68,5	0,7	2	2,2	1,6	4,5
18,68	АИР80А6У3	0,75	8	70	0,72	2	2,2	1,6	4,5
19,69	АИРХ112МА6У3	3	5	81	0,76	2	2,2	1,6	6
20,70	АИРХ132М6У3	7,5	4	85	0,81	2	2,2	1,6	7
21,71	АИР160SУ3	11	3	87	0,84	1,7	2,5	1,6	6,5
22,72	АИРХ160М6У3	15	3	88	0,85	1,7	2,6	1,6	6,5
23,73	АИР180М6У3	18,5	2	88	0,85	1,6	2,4	1,5	6,5
24,74	АИРХ132S8У3	4	4,5	83	0,7	1,8	2,2	1,4	6
25,75	АИР132М8У3	5,5	5	83	0,74	1,8	2,2	1,4	6
26,76	АИРХ132М8У3	5,5	5	83	0,74	1,8	2,2	1,4	6
27,77	АИРХ160S8У3	7,5	3	87	0,75	1,6	2,4	1,4	5,5
28,78	АИР160М8У3	11	3	87,5	0,75	1,6	2,4	1,4	6
29,79	АИР180М8У3	15	2,5	89	0,82	1,6	2,2	1,5	5,5
30,80	4А225М8У3	30	2	90	0,81	1,2	2	1	6
31,81	4А250S8У3	37	1,6	91,5	0,82	1,2	2	1	6
32,82	4А250М8У3	45	1,4	92	0,84	1,2	1,9	1	6,5
33,83	4А250S10У3	30	1,9	88	0,81	1,2	1,9	1	6
34,84	4А280М10У3	45	2	91,5	0,78	1	1,8	1	6
35,85	4А315М12У3	55	2,5	91	0,75	1	1,8	0,9	6
36,86	4А355S12У3	75	2	91,5	0,76	1	1,8	0,9	6
37,87	4АН160S2У3	22	2,8	88	0,88	1,3	2,2	1	7
38,88	4АН180М4У3	37	2,1	90,5	0,89	1,2	2,2	1	6,5
39,89	4АН225М6У3	45	2	91	0,87	1,2	2	1	65
40,90	4Н180S8У3	15	2,6	86	0,8	1,2	1,9	1	5,5
41,91	4АН315S10У3	75	2,2	91	0,82	1	1,8	0,9	5,5
42,92	4АН315М12У3	75	2,5	91	0,78	1	1,8	0,9	5,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
43,93	4ААМ50В2У3	0,12	9,7	63	0,75	2	2,2	1,2	5
44,94	4АМХ112М2У3	7,5	2,5	87,5	0,88	2,1	2,2	1	7,5
45,95	4ААМ50В4У3	0,09	8,6	57	0,65	2	2,2	1,2	5
46,96	4АМХ160S4У3	15	2,5	89	0,88	1,6	2,6	1,3	7,5
47,97	4АМХ160S6У3	11	2,5	86,5	0,82	1,5	2,5	1,3	6,5
48,98	4АМ200L6У3	37	2	91	0,86	1,5	2	1,2	6,5
49,99	4АМА71В8У3	0,25	10	58	0,66	1,6	1,7	1,2	3,5
50,00	4АМХ80А8У3	0,37	10	62	0,65	1,6	1,7	1,2	3,5

Примечание: Потери механические и добавочные принять:

$P_{мех} = (1,5…3)\%$ от $P_н$

$P_{доб} – 0,5\%$ от P_1

где P_1 – потребляемая двигателем мощность

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

Контрольная работа №2 содержит два вопроса (таблица 2.1) и три задачи (2.1.; 2.2.; 2,3). Данные задач приведены соответственно в таблицах 2.2.; 2.3.; 2.4 Номера вариантов задач и контрольные вопросы выбираются по двум последним цифрам шифра.

Вопросы к контрольной работе №2 (вопросы 1…32)

1. Принцип действия и устройство трансформаторов. Назначение и устройство основных элементов их конструкции.
2. Опыт холостого хода трансформатора и его практическое значение.
3. Работа трансформатора при нагрузке: уравнение токов и э.д.с., векторные диаграммы.
4. Опыт короткого замыкания трансформатора и его практическое значение.
5. Схема замещения приведенного трансформатора и определение ее параметров по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

6. Коэффициент полезного действия трансформатора и его зависимость от нагрузки.
7. Изменение вторичного напряжения и его зависимость от величины и характера нагрузки.
8. Способы регулирования напряжения трансформаторов ПБВ и РПН.
9. Поясните «нулевую» группу соединения обмоток трехфазных трансформаторов. Область ее применения.
10. Поясните «одиннадцатую» группу соединения обмоток трехфазных трансформаторов. Ее применение.
11. Условия включения трансформаторов на параллельную работу. Последствия при нарушении условий включения.
12. Пик-трансформаторы: устройство, принцип действия, применение.
13. Принцип действия и применение автотрансформаторов. Достоинства и недостатки по сравнению с трансформаторами.
14. Назначение, особенности устройства и работы измерительных трансформаторов тока и напряжения.
15. Устройство, схемы, особенности внешних характеристик сварочных трансформаторов и выпрямителей.
16. Принцип действия и устройства синхронных генераторов. Основная формула синхронных машин.
17. Способы возбуждения и схемы синхронных генераторов. Принцип самовозбуждения.
18. Электродвижущая сила фазы обмотки статора. Сущность обмоточного коэффициента.
19. Основные типы обмоток статоров машин переменного тока. Требования, предъявляемые к ним.
20. Принцип образования вращающегося магнитного поля в трехфазных и однофазных двигателях переменного тока.
21. Сущность реакции якоря синхронного генератора и ее влияние на работу машины.
22. Характеристики холостого хода и короткого замыкания синхронного генератора. Отношение короткого замыкания и его значение.
23. Внешние и регулировочные характеристики синхронного генератора при различном характере нагрузки.
24. Условия и способы включения синхронных генераторов на параллельную работу. Последствия несоблюдения условий включения.
25. Принцип действия и свойства синхронного двигателя. Его достоинства, недостатки и применение.
26. Способы и схемы пуска в ход синхронных двигателей.

27. Потери, коэффициент полезного действия и энергетическая диаграмма синхронного двигателя.
28. Принцип действия, устройство и применение реактивного синхронного двигателя. Электромагнитный момент.
29. Принцип действия, устройство и применение реактивно-гистерезисного двигателя.
30. Устройство, принцип действия и применение гистерезисных синхронных двигателей.
31. Шаговый (импульсный) двигатель, принцип действия, устройство и применение.
32. Одноякорные преобразователи переменно-постоянного и постоянного тока, устройство, принцип действия, схемы и применение.

Таблица 2.1. – Распределение вопросов контрольной работы №2

Варианты	№ вопросов	Варианты	№ вопросов	Варианты	№ вопросов
01,51	1,31	17,67	1,17	34,84	3,28
02,52	2,30	18,68	2,18	35,85	4,27
03,53	3,29	19,69	3,19	36,86	5,26
04,54	4,28	20,70	4,20	37,87	6,25
05,55	5,27	21,71	5,21	38,88	7,24
06,56	6,26	22,72	6,22	39,89	8,23
07,57	7,25	23,73	7,23	40,90	9,22
08,58	8,24	24,74	8,25	41,91	10,21
09,59	8,23	25,75	9,24	42,92	11,20
10,60	10,22	26,76	10,26	43,93	12,19
11,61	11,21	27,77	11,27	44,94	13,18
12,62	12,20	28,78	12,28	45,95	14,17
13,63	13,19	29,79	13,29	46,96	15,22
14,64	14,18	30,80	14,30	47,97	1,23
15,65	15,17	31,81	15,31	48,98	2,24
16,66	4,16	32,82	1,32	49,99	3,28
		33,83	2,29	50,00	6,29

Задача 2.1. Для трехфазного трансформатора, технические данные которого указаны в таблице 2.2., определить:

1) Коэффициент трансформации
2) Токи в обмотках трансформатора при заданной нагрузке
3) Коэффициент полезного действия при нагрузках 0,25; оптимальный; 0,75; 1 и 1,25 номинальный. Построить график зависимости к.п.д. от нагрузки
4) Напряжение на зажимах при заданной нагрузке
5) Ток холостого хода в амперах

6) Вычертить схему замещения и определить ее параметры, считая $r_1 = r_2'$; $x_1 = x_2'$.

Таблица 2.2. – Исходные данные к задаче 2.1

Варианты	Тип трансформаторов	Номинальная мощность, кВА $S_н$	Сочетание напряжений, кВ		Схема и группа соединений обмоток	Потери, Вт		Напряжение короткого замыкания, $U_к$ %	Ток холостого хода, % I_0	Коэффициент нагрузки, $К_{н\,г}$	Коэффициент мощности, $\cos\varphi_2$
			ВН $U_{1н}$	НН $U_{2н}$		холостого хода, P_0	короткого замыкания, $P_к$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01,51	ТМ-25	25	6,3	0,23	У/$У_н$-0	155	600	4,5	3,85	1,0	0,9
02,52	ТМ-25	25	6	0,4	У/$У_н$-0	155	600	4,5	3,85	0,9	0,9
03,53	ТМ-25	25	10	0,23	У/$У_н$-0	155	600	4,5	3,85	0,8	0,8
04,54	ТМ-25	25	10	0,4	У/$У_н$-0	155	600	4,7	3,85	0,5	0,8
05,55	ТМ-40	40	6	0,23	У/$У_н$-0	220	880	4,5	3,6	1,0	0,9
06,56	ТМ-40	40	6	0,4	У/$У_н$-0	220	880	4,5	3,6	0,9	0,9
07,57	ТМ-40	40	10	0,23	У/$У_н$-0	220	880	4,5	3,6	0,8	0,8
08,58	ТМ-40	40	10	0,4	У/$У_н$-0	220	1000	4,7	3,6	0,5	0,8
09,59	ТМ-63	63	6	0,23	У/$У_н$-0	305	1280	4,5	2,8	1,0	0,8
10,60	ТМ-63	63	6	0,4	У/$У_н$-0	305	1280	4,5	2,8	0,9	0,8
11,61	ТМ-63	63	10	0,23	У/$У_н$-0	305	1280	4,5	2,8	0,8	0,8
12,62	ТМ-63	63	6	0,4	У/$У_н$-0	305	1280	4,5	2,8	0,7	0,8
13,63	ТМ-63	63	20	0,4	У/$У_н$-0	390	1280	5,0	2,8	0,6	1,0
14,64	ТМ-100	100	6	0,23	У/$У_н$-0	420	1970	4,5	2,6	1,0	0,8
15,65	ТМ-100	100	10	0,23	У/$У_н$-0	420	1970	4,5	2,6	0,9	0,8
16,66	ТМ-100	100	6	0,4	У/$У_н$-0	420	1970	4,5	2,6	0,8	0,8
17,67	ТМ-100	100	10	0,4	У/$У_н$-0	420	1970	4,5	2,6	0,7	0,8
18,68	ТМ-100	100	20	0,4	У/$У_н$-0	535	1970	6,5	2,6	0,6	0,8
19,69	ТМ-100	100	35	0,4	У/$У_н$-0	535	1970	6,5	2,6	0,5	1,0
20,70	ТМ-160	160	6	6,23	У/$У_н$-0	650	2650	4,5	2,4	1,0	0,9
21,71	ТМ-160	160	10	0,4	У/$У_н$-0	650	2650	4,5	2,4	0,9	0,9
22,72	ТМ-160	160	6	0,4	У/$У_н$-0	650	2650	4,5	2,4	0,8	0,9
23,73	ТМ-160	160	10	0,23	У/$У_н$-0	650	2650	4,5	2,4	0,7	0,8
24,74	ТМ-160	160	6	0,69	У/Д-11	650	2650	4,5	2,4	0,6	0,8
25,75	ТМ-160	160	10	0,69	У/Д-11	650	2650	4,5	2,4	0,5	0,8
26,76	ТМ-250	250	6	0,23	У/$У_н$-0	945	3700	4,5	2,3	1,0	0,8
27,77	ТМ-250	250	10	0,23	У/$У_н$-0	945	3700	4,5	2,3	0,9	0,8
28,78	ТМ-250	250	6	0,4	У/$У_н$-0	945	3700	4,5	2,3	0,8	0,8
29,79	ТМ-250	250	10	0,69	У/Д-11	945	3700	4,5	2,3	0,5	1,0
30,80	ТМ-400	400	6	0,23	У/Д-11	1210	5500	4,5	2,1	1,0	0,8
31,81	ТМ-400	400	6	0,4	У/$У_н$-0	1210	5500	4,5	2,1	0,9	0,8
32,82	ТМ-400	400	6	0,69	У/Д-11	1210	5500	4,5	2,1	0,8	0,8
33,83	ТМ-400	400	10	0,23	У/Д-11	1210	5500	4,5	2,1	0,7	0,9
34,84	ТМ-400	400	10	0,23	У/$У_н$-0	1210	5500	4,5	2,1	0,6	0,9
35,85	ТМ-400	400	10	0,69	У/Д-11	1210	5500	4,5	2,1	0,5	0,9
36,86	ТМ-400	400	35	0,4	У/Д-11	1210	5500	6,5	2,1	0,4	0,9
37,87	ТМ-630	630	6	0,4	У/$У_н$-0	1310	7600	5,5	2,0	1,0	0,8
38,88	ТМ-630	630	10	0,4	У/$У_н$-0	1310	7600	5,5	2,0	0,9	0,8
39,89	ТМ-630	630	35	0,4	У/$У_н$-0	1600	7600	5,5	2,0	0,8	0,9
40,90	ТМ-630	630	35	6,3	У/Д-11	1600	7600	6,5	2,0	0,7	0,9
41,91	ТМ-630	630	35	11	У/Д-11	1600	7600	6,5	2,0	0,6	0,9
42,92	ТМ-1000	1000	10	0,69	У/$У_н$-0	2100	12200	5,5	1,4	0,8	0,8
43,93	ТМ-1000	1000	35	0,69	У/$У_н$-0	2350	12200	6,5	1,5	0,7	0,8
44,94	ТМ-1000	1000	35	11	У/Д-11	2350	11600	6,5	1,5	0,6	0,8
45,95	ТМ-1600	1600	10	0,69	У/Д-11	2800	18000	5,5	1,3	0,9	0,8
46,96	ТМ-1600	1600	35	0,69	У/Д-11	3100	18000	6,5	1,4	0,8	0,8
47,97	ТМ-1600	1600	35	11	У/Д-11	3100	16500	6,5	1,4	0,7	0,8
48,98	ТМ-2500	2500	10	0,69	У/Д-11	3900	25000	5,5	1,0	0,9	0,9
49,99	ТМ-2500	2500	35	0,69	У/Д-11	4350	26000	6,5	1,1	0,8	0,8
50,00	ТМ-2500	2500	35	11	У/Д-11	4350	23500	6,5	1,1	0,7	0,7

Указание: У – звезда; $У_н$ – звезда с нулевым выводом; Д - треугольник

Задача 2.2. Для трехфазной машины переменного тока, данные которой приведены в таблице 2.3., начертить развернутую схему двухслойной петлевой обмотки с укороченным шагом. Обмотку выполнить с последовательным соединением катушечных групп. Каждую фазу вычертить своим цветом.

Частота тока f= 50 Гц

Вычислить обмоточный коэффициент.

Путем расстановки токов по фазам выявить число магнитных полюсов и указать их.

Таблица 2.3 – Исходные данные к задаче 2.2.

Варианты	Число полюсов, 2р	Число пазов Z
01,11,21,31,41,51,61,71,81,91	2	12
02,12,22,32,42,52,62,72,82,92	2	18
03,13,23,33,43,53,63,73,83,93	2	30
04,14,24,34,44,54,64,74,84,94	2	24
05,15,25,35,45,55,65,75,85,95	4	24
06,16,26,36,46,56,66,76,86,96	4	36
07,17,27,37,47,57,67,77,87,97	6	36
08,18,28,38,48,58,68,78,88,98	2	36
09,19,29,39,49,59,69,79,89,99	4	48
10,20,30,40,50,60,70,80,90,00	8	48

Задача 2.3 Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет основные величины, значение которых приведены в таблице 2.4. Частота тока в сети – 50Гц. Определить:

1. Магнитный поток статора
2. Э.д.с., индуктируемую в фазах неподвижного и вращающегося ротора
3. Ток в неподвижном и вращающемся роторе
4. Частоту э.д.с. во вращающемся роторе
5. Величину сопротивления пускового реостата, обеспечивающего наибольший пусковой момент, приняв $x_1 = x_2'$, $r_1 = r_2'$

Таблица 2.4 – Исходные данные к задаче 2.3

№	Наименование величин	Ед. изм.	Вариант по последней цифре шифра									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Напряжение сети, $U_л$	В	220	660	380	220	380	660	220	380	220	660
2	Число полюсов, 2р	-	4	2	6	8	2	4	6	2	10	4
3	Скольжение, S	%	2,5	3,0	4	2	4	3	5	3,5	2	4
4	Число витков на фазу статора, W_1	-	350	100	130	120	300	180	125	120	120	320
5	Число витков на фазу ротора, W_2	-	35	80	26	80	40	72	25	30	80	40
6	Обмоточный коэффициент статора, $К_{об1}$	-	0,93	0,94	0,93	0,94	0,93	0,94	0,93	0,95	0,96	0,94
7	Обмоточный коэффициент ротора, $К_{об2}$	-	0,95	0,96	0,95	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95	0,96	0,95
8	Активное сопротивление фазы ротора, r_2	Ом	0,1	0,3	0,3	0,25	0,15	0,25	0,1	0,2	0,3	0,3
9	Индуктивное сопротивление фазы ротора, X_2	Ом	0,25	0,5	0,55	0,45	0,32	0,42	0,2	0,45	0,5	0,55

Примечание: Обмотки статора и ротора соединены звездой, падение напряжение в обмотке статора принять 5%.

Примерный перечень экзаменационных вопросов

1 Классификация электрических машин и их роль в сельскохозяйственном производстве.
2 История и перспективы развития электрических машин.
3 Основные законы электротехники в применении к теории электрических машин. Условия работы и элементы конструкции любой электрической машины.
4 Принцип действия генераторов переменного и постоянного тока. Коллекторные и униполярные генераторы постоянного тока.
5 Устройство и серии машин постоянного тока.
6 Системы возбуждения и схемы машин постоянного тока. Условия самовозбуждения генераторов.
7 Генератор параллельного возбуждения и его характеристики.
8 Двигатель параллельного возбуждения и его характеристики.
9 Двигатель последовательного возбуждения и его характеристики.
10 Двигатель смешанного возбуждения и его характеристики. Достоинства и недостатки двигателей постоянного тока.
11 Назначение и принцип действия трансформаторов.
12 Устройства и типы силовых трансформаторов.
13 Схемы соединений обмоток трехфазных трансформаторов и область их применения.
14 Группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов и область их применения.
15 Опыт холостого хода трансформатора и его практическое значение.
16 Опыт короткого замыкания трансформатора и его практическое значение.
17 Значение и условия включения трансформаторов на параллельную работу.
18 Автотрансформаторы: принцип действия, достоинства и недостатки, область применения.
19 Сварочные трансформаторы и выпрямители: внешние характеристики и конструкции.
20 Измерительные трансформаторы тока и напряжения: назначение, особенности конструкции и работы.
21 Назначение и принцип действия синхронных генераторов. Обращенное исполнение синхронных машин.
22 Устройство синхронных машин. Особенности конструкций дизельгенераторов, турбогенераторов и гидрогенераторов.
23 Синхронный генератор с машинным возбудителем.
24 Синхронный генератор с возбуждением от полупроводниковых выпрямителей.
25 Основные элементы трехфазной обмотки статора.

26 Способы получения вращающегося магнитного поля статора.
27 Условия и способы включения синхронных генераторов на параллельную работу.
28 Принцип действия, свойства и область применения синхронных двигателей.
29 Способы пуска в ход синхронных двигателей.
30 Синхронные компенсаторы и их роль.
31 Реактивный синхронный двигатель.
32 Назначение и принцип действия асинхронных двигателей. Их достоинства, недостатки и применение.
33 Устройство и область применения асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором.
34 Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.
35 Механическая характеристика асинхронного двигателя и ее характерные точки.
36 Способы пуска в ход асинхронных двигателей.
37 Асинхронные двигатели с улучшенными пусковыми свойствами: глубокопазный и двухклеточный.
38 Способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей и области их применения.
39 Асинхронный генератор с возбуждением от сети.
40 Асинхронный генератор с возбуждением от конденсаторов.
41 Принцип действия однофазного асинхронного двигателя. Аварийный переход трехфазных двигателей в однофазный режим.
42 Способы пуска в ход однофазных асинхронных двигателей с помощью пусковой обмотки.
43 Асинхронные конденсаторные двигатели (двухфазные).
44 Коллекторные двигатели переменного тока. Универсальный коллекторный двигатель.
45 Трехфазный индукционный регулятор.
46 Трехфазный фазорегулятор.
47 Асинхронные исполнительные двигатели и тахогенераторы.
48 Асинхронный двигатель с расщепленными (экранированными) полюсами.
49 Электрические машины синхронной связи (сельсины).
50 Вращающиеся преобразователи частоты.

Типы экзаменационных задач

1 Определение токов, ЭДС, моментов, потерь и коэффициента полезного действия машин постоянного тока различного возбуждения
2 Определение коэффициента трансформации, токов, коэффициента полезного действия, напряжений трехфазных трансформаторов с различными схемами и группами соединений. Построение векторных диаграмм, отражающих группы соединений.
3 Расчет основных параметров трехфазных обмоток статоров машин переменного тока. Определение обмоточного коэффициента.
4 Определение токов, моментов, скольжения, потерь в асинхронных двигателях. Построение механических характеристик при номинальном и пониженном напряжении в сети.

Наряду с задачами в экзаменационные билеты могут быть включены задания по составлению и сборке схем включения, пуск и регулирование частоты вращения различных электродвигателей, регулирование напряжения генераторов и т.п.