



ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

по курсу

Э Л Е К Т Р И Ч Е С К И Е М А Ш И Н Ы

для студентов специальностей:

- "Электрические машины и аппараты",
- "Электрификация промышленных предприятий",
- "Электрические станции, сети и системы"

XI
-15566
ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра электрических машин

ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
по курсу

Э Л Е К Т Р И Ч Е С К И Е М А Ш И Н Ы

для студентов специальностей:
"Электрические машины и аппараты",
"Электрификация промышленных предприятий",
"Электрические станции, сети и системы"

41218
Составители: Е. Пуусеп
Е. Валласте
Х. Лийн

Таллин
1967

В в е д е н и е

Технический прогресс в промышленности, в сельском хозяйстве, а также во всех остальных отраслях народного хозяйства тесно связан с прогрессом в электрификации.

Известный принцип В.И. Ленина о полной электрификации нашей страны является основным фактором при создании материальных основ коммунизма в нашей стране. Выработка электроэнергии в период от 1959 до 1965 года увеличилась в 2,2 раза, достигая в 1965 году 520 миллиардов киловатт-часов. Мощность генераторов за тот же период увеличилась больше чем в два раза.

В связи с развитием всех отраслей народного хозяйства, электрические машины найдут еще более широкое применение.

В соответствии с техническим прогрессом настоящего времени технические требования, предъявляемые к электрическим машинам, резко повышаются.

Из всего вышесказанного следует, что глубокое и всестороннее изучение теоретических и эксплуатационных вопросов, касающихся электрических машин, важно для всех, но особенно для студентов вышеперечисленных специальностей.

І. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ УСВОЕНИИ МАТЕРИАЛА КУРСА

Курс электрических машин является одним из основных курсов для вышеупомянутых специальностей.

Задача курса — дать студентам необходимые знания о теории и принципе действия электрических машин, об их конструктивном выполнении, связи главных размеров с основными данными и значениями технических характеристик, определяющих эксплуатационные свойства машин.

Изучение курса электрических машин базируется на знании теоретических основ электротехники и требует от студента хорошего понимания физики явлений и умения их анализировать. Необходимо также прохождение курсов по электрическим измерениям и по электротехническим материалам. Опыт работы показывает, что студенты, не усвоившие перечисленных курсов, имеют большие затруднения при изучении электрических машин.

Ниже приведен перечень основной и дополнительной литературы для усвоения данного курса.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. М.П. Костенко и Л.М. Пиотровский. Электрические машины, ч.І. ГЭИ, 1957.
2. То же, ч.ІІ, ГЭИ, 1958.
3. Л.М. Пиотровский. Электрические машины. ГЭИ, 1950.
4. Г.Н. Петров и др. Электрические машины, ч.І и П. ГЭИ, 1940...1948.
5. Г.Н. Петров. Электрические машины, ч. І. ГЭИ, 1956.
6. То же, ч. П. ГЭИ, 1963.

Дополнительная литература

7. М.П. Костенко. Электрические машины. ГЭИ, 1944 и 1949.
8. Н.В. Виноградов, Ф.А. Горяинов, П.С. Сергеев. Проектирование электрических машин. ГЭИ, 1950.
9. А.Е. Алексеев. Конструкция электрических машин. ГЭИ, 1949.

Из приведенной основной литературы достаточно приобрести какую-нибудь одну книгу перечисленных авторов.

Усвоение курса возможно по любому из перечисленных учебников.

Дополнительная литература необходима для углубления знаний, полученных при изучении основной литературы.

Соответствующую литературу для лабораторных работ и для курсового проектирования надо приобрести к началу лабораторных работ и курсовому проектированию.

По курсу "Электрические машины":

10. ГОСТ 183-55, ГОСТ 401-41 и другие стандарты, касающиеся электрических машин.

11. М.А. Шателен. Русские электротехники XIX века. ГЭИ, 1956.

12. С.А. Лытов. Индустриальные помехи радиоприему и борьба с ними. ГЭИ, 1952.

Литература для лабораторных работ

13. В.С. Кулебакин. Испытание электрических машин. ГЭИ, 1943.

14. Л.М. Пиотровский и В.К. Попов. Испытание электрических машин переменного тока. ГЭИ, 1937.

15. Л.М. Пиотровский и Е.А. Паль. Испытание электрических машин, ч. I. Общая часть и испытание машин постоянного тока. ГЭИ, 1949.

16. Л.М. Пиотровский, С.Б. Васютинский, Е.Д. Несговорова. Испытание электрических машин, ч. II. Трансформаторы и асинхронные двигатели. ГЭИ, 1960.

Литература для курсового проектирования

17. И.М. Постников. Проектирование электрических машин. ГИТЛ УССР, 1952 и 1962.

Предусмотрено самостоятельное изучение студентами основного материала курса.

Задания на курсовой проект выдаются индивидуально. Порядок выполнения проектов изложен в методических указаниях по курсовому проектированию.

Контрольные задания, приведенные в настоящих методических указаниях, должны быть решены в зависимости от специальности. Указания для этого приведены на прилагаемом листке.

Объем консультаций, зачетов и экзаменов определяется учебными планами в зависимости от специальности и приводится также на дополнительном листке.

Ниже излагается содержание курса "Электрические машины" в той последовательности, которая рекомендуется при разработке отдельных разделов.

Общие методические указания

Курс "Электрические машины" содержит разнообразный комплекс вопросов. В нем рассматривается теория и принцип действия всех основных видов электрических машин, различающихся по своему устройству. Вместе с этим необходимо помнить,

что все электрические машины работают по принципу электромагнитной индукции и имеют в основе общие элементы: магнитную систему и в большинстве случаев две обмотки, сцепленные с магнитным потоком. При этом одна из обмоток используется для создания магнитного потока.

Можно привести и другие примеры общности ряда явлений и методов исследования, применяемых к машинам различных видов. Так, например, обмотки якоря постоянного тока и обмотки статоров синхронных и асинхронных машин переменного тока строятся по общим принципам. Расчет нагревания и охлаждения электрических машин выполняется по общим для всех вращающихся машин схемам. На основе общих положений производится расчет магнитной системы машин различных видов.

В начале изучения курса рассматриваются в соответствии с разделом программы "Введение" общие принципы устройства и работы электрических машин. Следует выделять те общие явления в рабочем процессе, которые характерны для различных видов машин, используя эти знания при изучении последующих видов машин. Так, процессы, имеющие место в трансформаторах, встречаются в асинхронных и других машинах.

Рассмотрение и понимание подобной взаимосвязи помогает усвоению курса и сокращает время для его изучения.

Машины постоянного тока, а также коллекторные машины переменного тока создают помехи радиоприему. Вопросы о радиопомехах включены в эти разделы курса. Они являются общими для обоих видов машин.

Природа радиопомех, их определение и методы борьбы с ними изложены в первой части учебного пособия С.А. Лютова.

При изучении курса электрических машин должно быть уделено внимание истории их развития. Краткий исторический очерк помещен в книге Г.Н. Петрова "Электрические машины", ч. I, а также в книге М.П. Костенко и Л.М. Пиотровского, "Электрические машины", ч. I.

Характеристики электрических машин характеризуют поведение машин в различных режимах стационарной работы. Но важно изучить и поведение машин в переходных режимах работы. На основе исследований этих процессов студент должен получить ясное представление о применимости тех или других машин в конкретных случаях.

Условия нагрева и охлаждения электрических машин определяют их срок службы, габаритные размеры, вес и мощность.

В настоящее время характерно стремление к уменьшению потерь через усовершенствование конструктивных решений и применение новых высококачественных электротехнических материалов. Применение новых изоляционных материалов позволяет повысить рабочую температуру машины без уменьшения их срока службы. Одним из таких новых материалов является кремнеорганическая изоляция.

С эксплуатационными свойствами электрических машин студент ознакомится в процессе лабораторных работ. Лабораторные работы предусмотрены для всех основных видов электрических машин.

С расчетом и конструированием электрических машин студент познакомится при выполнении курсового проекта.

Расчет электрической машины является задачей с многими переменными, и поэтому можно получить множество решений. Следовательно, необходимо провести несколько вариантов расчета и выбрать из них самый подходящий.

Для облегчения выбора оптимальных параметров машин в учебниках и в руководствах даются рекомендации относительно выбора электрических и магнитных нагрузок, главных размеров машины и т.д. Эти данные получены из опыта на основе эксплуатационных показателей уже спроектированных машин. При проектировании необходимо соблюдать требования ГОСТа относительно электрических машин.

II. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСУ "ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ"

I. Введение

Роль и значение электрических машин в современной электротехнике и энергетике. Основные виды электрических машин. Общие принципы их устройства. Связь мощности электрических машин с их геометрическими размерами. Краткая история развития электрических машин в Советском Союзе и за рубежом.

Литература: (1) Введение
(3) Введение
(5) Введение

Историческое развитие электрических машин довольно подробно освещается в вышеуказанных учебниках. Там же излагаются задачи и значение электрических машин в настоящее время.

Общее представление о разновидностях электрических машин настоящего времени получит студент при ознакомлении с их классификацией, которая приведена в введении. Ознакомление с вышеуказанным облегчает студентам дальнейшее усвоение курса.

2. Машины постоянного тока

Принцип действия машин постоянного тока. Основные элементы конструкции машин постоянного тока.

Электродвижущая сила обмотки якоря. Потенциальная диаграмма коллектора при холостом ходе. Пульсация напряжения на коллекторе и способы их уменьшения.

Принципы образования и классификация обмоток машины постоянного тока. Петлевые и волновые обмотки: простые и многоходовые. Выбор числа щеточных пальцев и щеток. Условия симметрии обмоток. Звезда пазовых э.д.с. и ее использование в теории обмоток машин постоянного тока. Уравнительные соединения. Комбинированные обмотки. Выбор типа обмотки.

Магнитное поле генератора постоянного тока при холостом ходе. Поле рассеяния. Расчет магнитной цепи. Магнитная характеристика холостого хода.

Магнитное поле машины при нагрузке. Электромагнитный момент. Линейная нагрузка. Кривые н.с. (м.д.с.).

Поперечное и продольное поле якоря. Количественный учет влияния реакции якоря на магнитный поток и э.д.с. машины. Влияние искажения магнитного поля в воздушном зазоре на потенциальную кривую коллектора. Компенсационная обмотка.

Процессы коммутации тока. Основы теории коммутации машин постоянного тока. Способы улучшения коммутации: добавочные полюсы, сдвиг щеток. Влияние на коммутацию типа обмотки, сорта щеток и состояния коллектора. Расчет дополнительных полюсов. Настройка дополнительных полюсов. Искрение на коллекторе. Механические причины искрения щеток. Образование кругового огня.

Помехи радиоприему, создаваемые машинами постоянного тока. Способы снижения уровня этих помех.

Классификация генераторов постоянного тока по способу возбуждения. Энергетическая диаграмма генератора. Условия самовозбуждения. Характеристики генератора с независимым возбуждением. Характеристики генератора с параллельным, последовательным, смешанным возбуждением.

Энергетическая диаграмма двигателя постоянного тока. Скорость вращения двигателя. Пуск в ход. Изменение направления вращения. Условия устойчивой работы двигателя. Электромеха-

нические характеристики двигателей при различных способах возбуждения. Влияние коммутации на допустимые пределы регулирования скорости вращения. Регулирование скорости вращения изменением напряжения генератора, питающего двигателя. Другие методы регулирования скорости вращения.

Параллельная работа генераторов. Условия включения на параллельную работу. Перевод нагрузки с одной машины на другую. Особенности параллельной работы генераторов со смешанным возбуждением.

Генераторы с комбинированным продольным возбуждением. Сварочные генераторы. Машины с поперечным возбуждением. Электромашинные усилители и регуляторы. Машины постоянного тока высокого напряжения. Униполярные машины.

Потери в машинах постоянного тока и к.п.д. Методы, определения потерь по ГОСТ.

Нагревание и способы охлаждения машин постоянного тока. Допускаемый по ГОСТ нагрев отдельных частей машины. Основные режимы работы машин постоянного тока и их особенности с точки зрения нагрева.

Типовые и контрольные испытания машин постоянного тока. Определение главных размеров машин постоянного тока и порядок их расчета.

Конструкции машин постоянного тока. Типы и конструкции машин, выпускаемых электромашиностроительными заводами в СССР и за рубежом.

Литература: (1), ч. I, гл. I-II;
(2), ч. II, гл. 6;
(3), отдел I, гл. I-13;
(4), ч. II, раздел I, гл. I-21.

Необходимо ясно представить себе и усвоить процесс создания э.д.с. в обмотке якоря. Этот процесс является общим для всех электрических машин. Нужно запомнить, что по существу э.д.с., индуктированная в обмотке якоря, является

переменной. Следовательно, в обмотке якоря течет переменный ток, который при помощи коллектора превращается в постоянный во внешней цепи.

Особое внимание следует уделить образованию обмоток якоря и их соединению с коллектором, а также условиям симметрии обмоток. Это понятие является общим как для машин постоянного, так и переменного тока.

Расчет магнитной цепи достаточно подробно изложен в учебниках. Этот расчет необходим при решении контрольных заданий и курсового проекта. Ход расчета магнитной цепи подобен и в электрических машинах других видов.

Ясное представление о влиянии реакции якоря необходимо при изучении нагрузочных режимов машины. При изучении реакции якоря необходимо обратить внимание на процесс создания единого результирующего поля машины как следствия взаимодействия поля главных полюсов с полем якоря.

Одной из наиболее трудных тем раздела является коммутация тока. Здесь необходимо прежде всего уяснить себе физическую картину явления. Коммутация тока является процессом, определяющим работу машин постоянного тока, а также одноякорных преобразователей и коллекторных машин переменного тока. Необходимо отметить, что положение так называемой "классической" теории коммутации, в основу которой положено постоянство удельного сопротивления щеточного контакта, является по существу условным, и не объясняет в полной мере физики явлений.

подавляющее большинство генераторов постоянного тока является генераторами с самовозбуждением. Условия самовозбуждения разработаны во всех учебниках. Знание основных условий самовозбуждения машин является обязательным. Необходимо изучать основные характеристики генераторов постоянного тока и их конструирование при помощи характеристики холостого хода и характеристического треугольника. Важным является также ознакомление с условиями па-

параллельной работы генераторов и физическим содержанием этого режима работы.

При изучении свойств работы двигателей постоянного тока необходимо обратить внимание на электромеханические характеристики их в зависимости от способа возбуждения.

Для всех видов машин постоянного тока следует выяснить возможности и области их применения.

Специальные машины постоянного тока широко применяются в схемах управления и регулирования в автоматизированных приводах. Поэтому важно познакомиться с принципом работы и с конструкцией электромашинных усилителей и регуляторов.

В первый раздел курса включены общие вопросы нагревания и охлаждения электрических машин. Эти вопросы, хотя и помещены в раздел машин постоянного тока, распространяются на все другие типы машин.

3. Трансформаторы

Элементы конструкции трансформатора. Рабочий процесс трансформатора и основные уравнения. Векторная и энергетическая диаграммы. Т-образная схема замещения и ее параметры. Г-образная и упрощенная схема замещения. Определение параметров схемы замещения по опытам холостого хода и короткого замыкания. Напряжение короткого замыкания. Определение параметров трансформатора расчетным путем. Расчет потерь в сердечнике и намагничивающего тока. Магнитное рассеяние. Изменение напряжения при нагрузке трансформатора. Формула ГОСТ для определения процентного изменения напряжения. Соотношение между первичным и вторичным токами при нагрузке и сдвиг фаз между ними. К.п.д. трансформатора и его определение по ГОСТ.

Магнитные системы трехфазных трансформаторов. Конструкция сердечников. Конструкция обмоток. Группы и схемы соединения. Опытное определение группы соединения.

Высшие гармонические в кривых намагничивающего тока и э.д.с. Влияние способа соединения обмоток. Наличие третьей гармонической в фазных и линейных э.д.с. Высшие гармонические при наличии нулевого провода. Связь между токами и потоками третьей гармонической и конструкцией сердечника трансформатора.

Многообмоточные трансформаторы. Схема замещения трехобмоточного трансформатора. Опытное определение ее параметров. Процентное изменение напряжения. Группы соединений трехобмоточных трансформаторов по ГОСТ и соотношение мощностей отдельных обмоток.

Специальные типы трансформаторов. Автотрансформаторы и особенности их устройства. Трансформаторы последовательного включения. Трансформаторы для преобразования частоты и числа фаз. Работа трансформаторов в схемах выпрямления переменного тока. Особенности трансформаторов повышенной частоты. Трансформаторы импульсных токов.

Несимметричная нагрузка трансформаторов и ее расчет по методу симметричных составляющих. Допустимая степень асимметрии. Ток нулевой последовательности и возможность его появления при различных группах соединения. Сопротивление нулевой последовательности, его значение для различных типов трансформаторов и опытное определение. Выбор группы соединений в зависимости от ожидаемой асимметрии нагрузки. Отключение одной фазы и возможность использования этого режима в нормальных и аварийных условиях.

Параллельная работа трансформаторов. Условия включения на параллельную работу. Распределение нагрузки между трансформаторами при параллельной работе. Регулирование напряжения. Регулирование с отключением нагрузки. Регулирование под нагрузкой. Продольное и поперечное регулирование при помощи добавочных трансформаторов. Плавное регулирование напряжения.

Неустановившиеся процессы при работе трансформаторов. Процессы при включении. Процессы при внезапном коротком замыкании: нагрев обмоток, электродинамические силы и их расчет.

Волновые процессы и перенапряжения в обмотках трансформаторов. Распределение напряжения вдоль обмоток. Грозоупорный (нерезонирующий) трансформатор. Трансформаторы 400 кВ для сверхдальних передач переменного тока.

Нагревание и охлаждение трансформаторов. Допускаемые температуры отдельных частей трансформаторов по ГОСТ. Нагрев при переменной нагрузке. Способы охлаждения. Контроль за температурой и защита от перегрева. Нагрузочная способность трансформаторов с точки зрения старения изоляции. Типовые и контрольные испытания трансформаторов. Определение главных размеров трансформаторов и порядок их расчета.

Конструкция современных трансформаторов. Основные типы и характеристики трансформаторов, выпускаемых заводами СССР. Трансформаторостроение за рубежом.

Литература: (1), главы 12-22;
(3), главы 14-22;
(5), глава II.

Основы теории трансформаторов были рассмотрены в курсе "Теоретические основы электротехники". Рекомендуется перед началом изучения раздела "Трансформаторы" повторить этот материал, а также разделы, посвященные переходным явлениям в электрических цепях.

При изучении рабочего процесса трансформатора весьма важно уяснить связь между н.с. (м.д.с.) первичной и вторичной обмотки и зависимость тока первичной обмотки от нагрузки трансформатора, вытекающие из условия неизменности приложенного напряжения.

Дальше следует обратить внимание на потерю напряжения трансформатора под нагрузкой в зависимости от напряжения короткого замыкания. Определение напряжения короткого замыкания и его слагаемых расчетным и опытным путем является основой при изучении основных эксплуатационных свойств трансформатора.

При изучении трехфазных трансформаторов особое внимание должно быть обращено на сущность понятия "группа соединений". Группа соединений определяет сдвиг между векторами вторичных линейных напряжений по отношению к первичным, которая определяется соединением обмоток. На возможность появления третьих гармонических в кривой тока холостого хода, в магнитном потоке и в фазной э.д.с. трехфазных трансформаторов обращено внимание в курсе "Теоретические основы электротехники". Этот раздел следует повторить.

При изучении трехобмоточных трансформаторов следует учесть, что параметры их (активные и реактивные сопротивления) зависят от взаимной индуктивности всех обмоток. Взаимное расположение обмоток определяет параметры отдельных обмоток.

Необходимо ясно представить переходные процессы при включении трансформатора в сеть и при внезапном коротком замыкании. При этом надо запомнить, что трансформатор представляет из себя нелинейное сопротивление. Это обстоятельство вынуждает применение особых приемов при анализе переходных режимов трансформаторов (см. раздел "Переходные процессы в нелинейных цепях" в курсе "Теоретические основы электротехники").

Эксплуатация трансформаторов характеризуется следующими режимами работы: несимметричная нагрузка, параллельная работа, регулировка напряжения, переходные процессы,

перенапряжение в обмотках, нагревание и охлаждение. Поэтому на изучение этих процессов надо обратить особое внимание.

Токи и механические силы, возникающие при переходных процессах, вызывает деформацию и нагревание обмоток трансформатора. Следовательно, необходимо выяснить основы расчета этих явлений.

Волновые процессы и перенапряжения, возникающие в трансформаторе, обуславливают там колебательные процессы затухания перенапряжения. Важно себе представить сущность этих явлений и меры защиты трансформаторов против перенапряжений. Грозупопные трансформаторы, выпускаемые заводами СССР, являются примерами решения этих задач при проектировании трансформаторов.

4. Общие вопросы теории машин переменного тока

Основные элементы конструкции машин переменного тока. Э.д.с. обмотки машин переменного тока. Э.д.с. проводника, витка, катушки, фазы. Обмоточные коэффициенты. Э.д.с. при несинусоидальном поле. Соединение обмотки в звезду и треугольник. Способы уменьшения высших гармонических в кривой э.д.с.

Принципы образования и основные типы статорных обмоток переменного тока. Звезда пазовых э.д.с. Однослойные обмотки. Двухслойные обмотки с диаметральной и укороченным шагом. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Н.с. (м.д.с.) обмоток машин переменного тока. Кривая н.с. (м.д.с.) трехфазной обмотки. Создание вращающегося поля, прямого и обратного. Высшие гармонические н.с.(м.д.с.). Влияние на форму кривой н.с. (м.д.с.) числа пазов, дробности и укорочения шага.

Магнитное поле машины. Определение магнитного напряжения. Магнитная характеристика. Индуктивность и взаимная индуктивность обмоток. Поле рассеяния. Индуктивное сопротивление рассеяния и его определение.

Литература: (2), раздел I;
(3), отдел 3, гл. 24-29;
(4), часть I, раздел III.

Основы образования обмоток машин переменного тока являются важнейшим вопросом. По сравнению с обмотками машин постоянного тока они отличаются большей конструктивной разновидностью. Важно себе ясно представить все средства для уменьшения высших гармонических как в кривой э.д.с., так и в кривой н.с. (м.д.с.) машины.

Получение вращающегося поля рассмотрено и в курсе "Теоретические основы электротехники". Этот раздел придется повторить.

Важным вопросом является характер полей рассеяния и индуктивности рассеяния, а также их расчет.

Асинхронные машины

Принцип действия асинхронной машины. Пространственные и временные диаграммы н.с. (м.д.с.) статора и ротора. Векторные диаграммы и основные уравнения для цепей статора и ротора. Приведение параметров вторичной цепи к первичной. Приведение рабочего процесса многофазной асинхронной машины к рабочему процессу трансформатора с переменной активной нагрузкой. Совмещенная векторная диаграмма статора и ротора. Т-образная схема замещения асинхронной машины. Преобразование схемы замещения. Энергетическая диаграмма.

Вращающий момент асинхронной машины в зависимости от скольжения и сопротивления ротора. Начальный, минималь-

ный и максимальный момент вращения. Значения моментов по ГОСТ. Изменение направления вращения двигателя.

Круговая диаграмма асинхронной машины. Определение параметров схемы замещения и построение диаграммы по данным опытов холостого хода и короткого замыкания. Получение характеристик по круговой диаграмме. Влияние неустойчивости параметров асинхронной машины на диаграмму тока.

Пуск в ход трехфазных асинхронных двигателей. Пуск при номинальном и пониженном напряжениях. Пусковой ток и его влияние на сеть. Двигатели с контактными кольцами. Короткозамкнутые двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками. Роторы с двойной клеткой. Роторы с глубоким пазом. Массивный стальной ротор. Полые роторы. Влияние высших гармонических магнитного поля на работу короткозамкнутых машин.

Регулирование скорости вращения трехфазного двигателя путем изменения скольжения, частоты и числа полюсов. Каскадное соединение двух асинхронных двигателей.

Работа асинхронной машины в режиме генератора. Самовозбуждающийся асинхронный генератор. Работа асинхронной машины в режиме тормоза. Способы торможения двигателей. Двигатели двойного питания.

Способы повышения коэффициента мощности асинхронного двигателя. Работа асинхронного двигателя при неноминальных условиях. Колебания напряжения. Колебания частоты. Несимметрия напряжения. Несимметрия сопротивлений во вторичной цепи асинхронной машины.

Понятие о переходных процессах в асинхронной машине. Ток и момент вращения при переходных процессах.

Однофазный асинхронный двигатель. Пуск в ход. Конденсаторный двигатель.

Асинхронная машина в качестве повторного трансформатора и автотрансформатора (индукционного регулятора). Использование асинхронной машины в схемах синхронной связи (сельсины).

Потери и к.п.д. асинхронных машин. Нагревание машин; нормы допускаемого нагрева и способы охлаждения.

Типовые и контрольные испытания асинхронных двигателей. Определение главных размеров асинхронных машин и порядок их расчета.

Типы и конструкции асинхронных двигателей, выпускаемых электромашиностроительными заводами в СССР и за рубежом, их характеристики.

Асинхронные микродвигатели. Двигатели с малым моментом инерции ротора. Высокоскоростные асинхронные двигатели.

Литература: (4), часть I, раздел IV;

(3), гл. 24-29 и 38-48;

(2), гл. I-6 и I8-26.

Принимаясь за исследование асинхронной машины, следует в первую очередь выяснить принцип действия. Асинхронный двигатель с неподвижным ротором представляет из себя особый трансформатор. В особенности следует обратить внимание на то, что при изменении нагрузки н.с. статора и ротора остаются неподвижными в пространстве. Таким образом, диаграмма н.с. асинхронной машины пространственная, тогда как для трансформатора она временная. Рабочий процесс асинхронной машины близок к рабочему процессу трансформатора, и поэтому теория асинхронных машин рассматривается также как для трансформатора.

В асинхронной машине вращающийся ротор заменяется эквивалентным неподвижным и тогда оказывается возможным характеризовать работу машины схемой замещения трансформатора.

Схема замещения асинхронной машины дает возможности исследовать различные режимы работы машины, а также определить все величины, характеризующие работу машины.

Широко применяется круговая диаграмма асинхронной машины, которая является хорошим средством для исследования различных режимов работы асинхронной машины.

Знакомясь с разными методами пуска асинхронных двигателей, выясняются те недостатки, которые свойственны пуску асинхронных двигателей. Отсюда становится ясным надобность улучшения пусковых свойств. Следует себе хорошо уяснить физические процессы, происходящие в двигателях с улучшенными пусковыми свойствами, чтобы понять причины, улучшающие пуск.

Знакомство с однофазными асинхронными двигателями основано на разложении пульсирующего поля на два вращающихся в противоположные стороны поля. Важным вопросом в части однофазных двигателей является пуск.

Применение асинхронной машины в качестве поворотного трансформатора и индукционного регулятора, а также синхронная связь — это еще некоторые возможности применения. Следует ознакомиться с этими специальными видами применения.

6. Синхронные машины

Принцип действия синхронной машины. Основные элементы конструкции явно и неявнополюсных машин.

Холостой ход синхронного генератора. Реакция якоря синхронного генератора при симметричной нагрузке. Поперечное и продольное поле якоря. Коэффициенты приведения продольной и поперечной н.с. (м.д.с.) якоря. Влияние поля якоря на форму кривой напряжения.

Параметры обмотки статора при установившемся симметричном режиме нагрузки. Активное сопротивление. Индуктивное

сопротивление рассеяния. Синхронные индуктивные сопротивления. Параметры в системе относительных единиц. Индуктивные сопротивления взаимоиндукции.

Векторные диаграммы трехфазного синхронного генератора при симметричной нагрузке. Диаграммы для неявнополюсных машин. Диаграммы для явнополюсных ненасыщенных и насыщенных машин. Энергетическая диаграмма синхронного генератора. Изменение напряжения генератора при сбросе нагрузки. Диаграмма при коротком замыкании трех фаз.

Характеристики синхронных генераторов: внешняя, регулировочная, нагрузочная и трехфазного короткого замыкания. Отношение короткого замыкания (о.к.з.). Определение синхронного сопротивления по характеристикам холостого хода и короткого замыкания трех фаз.

Несимметричная нагрузка трехфазного синхронного генератора и ее исследование по методу симметричных составляющих. Индуктивные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности. Снижение мощности генератора при несимметричной нагрузке. Установившееся короткое замыкание двух фаз, одной фазы и двух фаз на нейтраль. Опытное определение параметров нулевой и обратной последовательности.

Однофазный синхронный генератор. Реакция якоря однофазного генератора. Уничтожение обратно-синхронного поля при помощи успокоительной обмотки. Векторная диаграмма однофазного генератора.

Параллельная работа синхронных генераторов. Условия включения генераторов на параллельную работу и синхронизация. Включение по методу самосинхронизации. Электромагнитная мощность синхронных машин. Синхронный и реактивный моменты. Синхронизирующая мощность. Максимальная электромагнитная мощность синхронных машин в установившемся режиме как предел их статической устойчивости. Работа на сеть

бесконечной мощности. V -образные кривые синхронных машин. Перевод нагрузки с одного генератора на другой и распределение между ними активной и реактивной мощности. Особенности параллельной работы генераторов соизмеримой мощности. Зарядная мощность генератора. Работа синхронной машины при потере возбуждения.

Синхронный двигатель. Способы пуска трехфазного синхронного двигателя. Векторные диаграммы. V -образные кривые. Круговая диаграмма. Рабочие характеристики. Реактивный синхронный двигатель. Синхронные микродвигатели. Области применения синхронных двигателей.

Синхронный компенсатор. Использование синхронного компенсатора для улучшения коэффициента мощности и регулирования напряжения сети и дальних электропередач. Параметры синхронных компенсаторов. Совмещение в одной машине функций двигателя и компенсатора. Синхронные генераторы повышенной и высокой частоты. Принципы устройства. Характеристики.

Переходные процессы в синхронных машинах. Внезапное короткое замыкание синхронной машины. Переходные и сверхпереходные сопротивления. Схемы замещения. Постоянные времени обмоток статора, возбуждения и успокоительной. Влияние успокоительной обмотки на ударный ток короткого замыкания и его определение при замыкании трех, двух и одной фазы.

Опытное определение сверхпереходных и переходных сопротивлений. Электродинамические силы и моменты вращения при внезапном коротком замыкании.

Собственные и вынужденные колебания скорости вращения синхронных машин при параллельной работе. Моменты, приложенные к ротору, и уравнения движения ротора. Период собственных колебаний. Вынужденные колебания ротора. Понятие о динамической устойчивости синхронных машин. Системы быстродействующего воз-

буждения; форсировка возбуждения. Исследование электро-механических переходных процессов на динамических моделях.

Потери в синхронных машинах. К.п.д. синхронных машин и его определение.

Нормы допустимого нагрева машин. Способы охлаждения. Протяжная и замкнутая система вентиляции. Водородное охлаждение. Внутреннее охлаждение обмоток ротора и статора.

Типовые и контрольные испытания синхронных машин. Определение главных размеров синхронных машин и порядок их расчета. Развитие турбо- и гидрогенераторостроения в СССР и за рубежом. Типы и конструкции синхронных машин, выпускаемых советскими заводами и их характеристики. Основные серии, Синхронные генераторы с самовозбуждением выпрямленным током и машины с постоянными магнитами.

Литература: (4) часть I, раздел У;
(3) отд. 3, гл. 23-36;
(2) ч. II, раздел II, гл. 8-17.

Ознакомившись с принципом действия и устройством синхронных машин, следует себе выяснить возможность получения синусоидальной э.д.с.

Основным вопросом теории синхронной машины является реакция якоря. В якорной (обычно статорной) обмотке якоря индуктируется э.д.с. магнитным потоком, который является результатом взаимодействия м.д.с. реакции якоря и возбуждения.

Взаимное положение полей реакции якоря и возбуждения определяется углом сдвига фаз между током и э.д.с. машины. Следует выяснить характер продольного и поперечного поля в машинах с явно и неявно выраженными полюсами.

Следует обратить внимание на изучение параметров синхронной машины, выяснить при этом продольные и поперечные составляющие полей реакции якоря и рассеяния.

Особое значение имеют при изучении свойств синхронных машин векторные диаграммы. Следует знать, какой вид векторной диаграммы следует применить в том или ином случае.

Следующим важным вопросом является параллельная работа синхронных машин. В этой части важно знать особенности параллельной работы в сети бесконечной и соизмеримой мощности. Важно понять влияние вращающего момента и регулирования возбуждения на параллельную работу. Следует быть знакомым с разными методами синхронизации, их применимостью в одном или другом случае.

В эксплуатации синхронных машин важным вопросом является статическая и динамическая устойчивость. Надо хорошо представлять себе эти понятия и знать способы увеличения устойчивости.

В эксплуатации большое значение имеет несимметричная нагрузка и ее влияние на работу машины.

Синхронный двигатель широко применяется в мощных электроприводах. Поэтому важно знать особенности работы синхронной машины в качестве двигателя, в особенности, обращая внимание на ознакомление с методами пуска синхронного двигателя. Ознакомившись с работой синхронного компенсатора, обратите внимание на возможность одновременного применения синхронной машины в качестве двигателя и компенсатора.

Так как время от времени возникает короткое замыкание, то возникает и внезапное короткое замыкание, влияние которого на синхронную машину имеет большое значение в эксплуатации. Главное внимание при проработке этого вопроса следует обратить на физическое содержание вопроса.

Вращающиеся преобразователи

Классификация вращающихся преобразователей тока. Области их применения. Двигатель-генератор. Однокорный преобразо-

ватель постоянного тока. Одноякорный преобразователь переменного тока в постоянный. Соотношение между напряжениями и токами со стороны колец и коллектора. Результирующий ток в обмотке якоря. Потери в обмотке якоря. Реакция якоря и коммутация тока. Регулирование напряжения преобразователя. Пуск в ход. Использование преобразователя в качестве генератора двойного тока и особенности этого режима работы.

Литература: (4) часть II, раздел II;
(3) гл. 37;
(2) гл. 17.

Наибольшее внимание следует уделить изучению одноякорного преобразователя.

Одноякорный преобразователь постоянного тока или радио-преобразователи находят в настоящее время применение в установках связи и радио. В них постоянный ток низкого напряжения (12-29) в преобразуется в ток высокого напряжения (750-1500 в). Краткое описание таких преобразователей дано, например, во II части книги Г.Н. Петрова.

Знакомясь с одноякорными преобразователями переменного тока в постоянный, надо особое внимание обратить на реакцию якоря, потери в обмотке якоря и особенности коммутационного процесса в этих машинах. Надо знать соотношение между переменными и постоянными токами и напряжениями одноякорного преобразователя.

8. Коллекторные машины переменного тока

Области применения коллекторных машин переменного тока. Работа асинхронных бесколлекторных машин при введении в цепь их ротора дополнительной э.д.с. Регулирование скорости вращения и коэффициента мощности.

Введение в цепь ротора трехфазной асинхронной машины дополнительной э.д.с. с помощью коллектора. Коммутация тока в трехфазном коллекторном роторе.

Трехфазный коллекторный двигатель параллельного возбуждения. Двигатели с питанием со стороны статора и ротора.

Трехфазный коллекторный двигатель последовательного возбуждения. Коллекторный генератор.

Фазокомпенсатор. Основные типы. Фазокомпенсатор с собственным и независимым возбуждением.

Каскадные соединения асинхронной машины с коллекторной для регулирования скорости вращения. Энергетическая диаграмма электрических и электромеханических каскадов. Каскадные схемы для разных случаев регулирования скорости вращения.

Однофазные коллекторные двигатели последовательного возбуждения. Универсальные двигатели. Индукционные однофазные коллекторные двигатели. Индустриальные помехи радиоприему, создаваемые коллекторными машинами переменного тока и способы снижения их уровня.

9. Заключение

Современное состояние и перспективы развития электромашиностроения в СССР и за рубежом. Роль и значение передовой прогрессивной технологии в электромашиностроении. Научные проблемы электромашиностроения.

Литература: (4), часть II, раздел II;

(3), отдел У, гл. 49-54;

(2), раздел IУ, гл. 27-29.

Важнейшим вопросом этой части является влияние вводимой в ротор добавочной э.д.с. на поведение и свойства асинхронного двигателя. Далее надо выяснить значение коллектора при получении добавочной э.д.с.

Из однофазных коллекторных двигателей наибольшее значение имеет однофазный коллекторный двигатель с последовательным возбуждением. Он находит применение при электрификации железных дорог.

Познакомившись с коллекторными двигателями, надо уметь для каждого вида двигателя нарисовать векторную диаграмму, объяснить характер вращающего момента и способы регулирования скорости вращения.

Надо обратить внимание на особенности коммутационного процесса коммутаторных двигателей.

III. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

I. Правила решения и оформления контрольных работ

1. Вариант контрольной работы выбирается по последней цифре номера зачетной книжки.

2. До начала решения контрольной работы студент основательно знакомится с теоретическими основами выполняемой контрольной работы по рекомендуемой в данных методических указаниях литературе. Этим устраняются ошибки при решении.

3. Оформление контрольных работ должно соответствовать указаниям.

2. Контрольная работа № I

Машины постоянного тока

I. Расчет магнитной цепи машины постоянного тока (для одной пары полюсов). Данные машины в таблице I. Требуется:

- а) нарисовать эскиз магнитной цепи машины (для одного квадранта);
- б) рассчитать магнитную цепь до 125%, значения номинального напряжения (смотри пример расчетной таблицы на стр. 31)
- в) вычертить кривую намагничивания (холостого хода) как для всей машины, так и для отдельных частей магнитной цепи;
- г) определить по полученной кривой коэффициент магнитного насыщения.

2. Определить размагничивающую м.д.с. реакции якоря и построить реактивный треугольник для номинального режима генератора.

Объяснить, какие обстоятельства оказывают влияние на размагничивающую м.д.с. реакции якоря и когда она равна нулю.

3. Сконструировать внешнюю характеристику генератора и определить процентное изменение напряжения ΔU %.

4. Для работы данной машины в качестве двигателя сконструировать механическую характеристику $n = f(M)$ и характеристику $I_a = f(M)$.

Расчеты произвести при напряжении двигателя, равного номинальному напряжению генератора.

5. Рассчитать по величинам, характеризующим обмотку, и по активному числу проводников N обмотки якоря параметры обмотки якоря.

6. На основе расчетных данных вычертить развернутую схему обмотки якоря, пометить на ней расположение полюсов, щеток и короткозамкнутые секции. Дать схему параллельных ветвей. Пометить направление токов в секциях и направление вращения якоря. Рассчитать шаг уравнительных соединений и их полное число, пометив некоторые из них на схеме.

Т а б л и ц а I

Вариант	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность P_H кВт	52	12	55	35	17,5	48	1,5	120	78	35
Номинальное напряжение U_H В	230	115	400	230	230	115	115	230	230	115
Номинальная скорость вращения n_n об/мин	940	1350	730	940	1830	1150	1750	750	680	940
Число полюсов $2p$	4	4	4	4	4	4	4	6	6	4
Воздушный зазор под полюсом δ мм	3,5	2	4	4	2	4	2	3	5	4
<u>Якорь</u>										
Внутренний диаметр якоря D_s мм	88	60	150	84	60	156	30	250	180	120
Внешний диаметр якоря D_a мм	350	240	380	300	245	320	148	520	480	300
Длина сердечника якоря в мм l	230	80	200	150	80	140	62	285	230	160
Число пазов Z	45	35	41	35	35	71	33	84	102	33
Ширина паза в мм b	9,3	7,9	12	11,4	7,9	8	5	9	6,2	10,4
Глубина паза в мм h	31	36	36	29	36	22	20	34	38	30
Число активных проводников N	270	420	492	420	834	142	792	504	612	198

Число параллельных ветвей 2α	2	2	2	2	2	2	2	6	6	2
Станина										
Внешний диаметр станины $D_{кв}$ мм	650	495	750	600	495	696	292	842	852	648
Внутренний диаметр станины $D_{кс}$ мм	550	440	660	540	440	610	268	760	760	580
Длина станины L мм	350	200	340	270	200	240	140	400	330	270
Длина главного полюса l_p мм	225	80	190	150	80	140	65	280	230	150
Ширина главного полюса b_p мм	150	80	155	100	80	107	45	172	120	110
Коэффициент перекрытия полюса α_i	0,7	0,63	0,7	0,7	0,63	0,7	1,6	0,68	0,712	0,775
Коэффициент рассеяния σ	1,15	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,15	1,2	1,1	1,05
Число вентиляционных каналов n_s	2	-	2	2	-	-	-	3	3	-
Ширина вентиляционного канала B_s мм	12,5	-	10	10	-	-	-	10	10	-

Материал: Сердечники якоря и полюсов - электротехническая сталь марки ЭП, ярмо - литая сталь, коэффициент заполнения железа $k_{ст} = 0,93$.

Методические указания

I. Расчет магнитной цепи производится в соответствии с указаниями учебника. Это не вызывает трудностей. Ниже приводится форма таблиц для записи расчетных данных. Приводятся также таблицы магнитных характеристик для применяемых ферромагнитных материалов.

2. Для учета размагничивающего действия реакции якоря следует построить переходную характеристику. При помощи этой характеристики легко получить размагничивающую н.с. якоря по методу, приводимому в литературе. Также не представляет трудности построение реактивного треугольника.

3. Конструирование внешней характеристики из характеристик х.х. и к.з. приводится в учебниках.

4. Построение механической характеристики приводится, например, в учебнике Л.М. Пиотровского.

5 и 6. О вычерчивании схемы якорной обмотки имеется достаточно примеров в учебниках, что поможет решить данную задачу.

Т а б л и ц а 2

Характеристика намагничивания электротехнической стали марок Э11, Э12 и Э21

В (Тл)	H (а/см)	В (Тл)	H (а/см)
0,4000	1,4	1,5000	25,0
0,5000	1,71	1,6000	43,7
0,6000	2,11	1,7000	77,8
0,7000	2,61	1,8000	128
0,8000	3,18	1,9000	197
0,9000	3,97	2,0000	310
1,0000	5,02	2,1000	655
1,1000	6,47	2,2000	1440
1,2000	8,43	2,3000	2240
1,3000	11,4	2,4000	3040
1,4000	15,8	2,5000	3840

Данные расчета магнитной цепи

Расчетные величины	Единица изм.	$\frac{1}{4} B_{\delta n}$	$\frac{1}{2} B_{\delta n}$	$\frac{3}{4} B_{\delta n}$	$\frac{5}{4} B_{\delta n}$	Примечания
Магнитный поток якоря	Φ_0	δ				
Магнитная индукция	B_{δ}	мл				$L_{\delta} = \delta = \dots$ см
	B_z	"				$L_z = h_z = \dots$ см
	B_m	"				$L_m = \dots$ см
	B_a	"				$L_a = \dots$ см
	B_i	"				$L_i = \dots$ см
Расчетные напряженности магнитного поля	H_z	а/м				
	H_m	"				
	H_a	"				
	H_i	"				
М.д.с.	F_{δ}	а				
	F_z	"				
	F_m	"				
	F_a	"				
	F_i	"				
М.д.с. на один полюс	F	"				
М.д.с. активной части якоря (воздушный зазор и зубцы)	$F_{\delta+z}$	"				

Характеристика намагничивания литой стали

В (тл)	H (а/см)	В (тл)	H (а/см)
0,4000	3,2	1,1000	10,9
0,5000	4	1,2000	12,9
0,6000	4,88	1,3000	15,9
0,7000	5,84	1,4000	20,9
0,8000	6,82	1,5000	28,9
0,9000	7,98	1,6000	41
1,000	9,24		

П р и м е ч а н и е. Тесла (тл) является единицей измерения магнитной индукции в системе единиц СИ:

$$I_{\text{ма}} = 10000 \text{ э} = I \frac{65}{\text{м}^2} = I \frac{\text{всек}}{\text{м}^2}.$$

3. Контрольная работа № 2Трансформатор

Трехфазный трансформатор с масляным охлаждением изготовлен в соответствии с ГОСТ 401-41 и его данные приводятся в таблице 4.

1. Рассчитать изменение вторичного напряжения U_2 , ΔU % аналитически и проверить полученное значение графически.

2. Найти приведенные к первичной цепи параметры схемы замещения r_{I2} , X_{I2} , Z_{I2} и r'_K , X'_K , Z'_K .

3. Найти, при какой нагрузке к.п.д. трансформатора максимальный, и вычертить кривую к.п.д.

4. Найти распределение нагрузки для двух параллельно работающих трансформаторов данной мощности, если:

Таблица 4

Наименование \ Варианты	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность S кВа	100	10	20	75	180	180	560	1000	1000	5
Номинальное высшее напряжение U_I в	6000	6000	6000	6000	10000	35000	3000	6000	35000	500
Номинальное низшее напряжение U_2 в	400	400	400	400	230	400	525	400	6300	230
Соединение обмоток	Y/Y-12	Y/Y-12	Y/Y-12	Y/Y-12	Y/Y-12	Y/Y-12	Y/Δ-11	Y/Y-12	Y/Δ-11	Y/Y-12
Напряжение короткого замыкания U_k %	5,45	5,55	5,5	5,5	5,5	6,5	5,45	5,45	6,4	5,55
Ток холостого хода I_0 %	6,5	10	9	6,5	7	8	6	5	5,5	10
Потери холостого хода P_0 Вт	555	110	187	448	1046	1366	2515	4860	5200	63,5
Потери короткого замыкания P_k Вт за-	2400	340	600	2200	4000	4200	9200	13000	15000	200
Активная составляющая напряжения короткого замыкания U_a %	2,42	3,31	3,07	2,48	2,26	2,33	1,61	1,55	1,44	3,72
Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания U_p %	4,86	4,47	4,55	4,93	5,02	6,08	5,22	5,24	6,25	4,08

а) напряжение к.з. одного трансформатора отличается от напряжения другого на 20%;

б) коэффициент трансформации одного отличается от другого на 5%.

Найти суммарную допускаемую нагрузку трансформаторов в ква, если $\cos \varphi = 0,8$.

М е т о д и ч е с к и е у к а з а н и я

Указанные вопросы достаточно полно освещены в учебниках, и поэтому решение данной задачи не должно вызвать затруднений.

Контрольная работа № 3

Общие вопросы теории машин переменного тока

1. Начертить схему трехфазной однослойной обмотки переменного тока по данным таблицы 5.

Фазы обмотки соединены в звезду.

2. Начертить схему трехфазной двухслойной петлевой обмотки по данным таблицы 5.

Выбрать такой шаг обмотки, при котором практически уничтожается 5-ая гармоническая кривой э.д.с.

Фазы обмотки соединены в звезду.

3. В случае обмотки, выполненной по пункту 2, магнитная индукция в воздушном зазоре генератора распределена прямоугольником, $B = 0,7500$ тл.

Найти эффективное значение напряжения холостого хода, определить отношение линейного и фазного напряжения и сравнить последнее с таким же отношением при синусоидальном распределении поля. Учитывать высшие гармонические до 7-ой, включая последнюю. Число витков секций фазной обмотки $W_c = 100$.

4. Для обмотки, приведенной в п. I настоящей задачи:

а) определить 1, 3 и 5 гармонические м.д.с. для одной катушки обмотки, для q катушек одной фазы (на одну пару полюсов) и для всех трех фаз;

б) начертить кривую м.д.с. для всех трех фаз для момента времени t_1 , когда ток в фазе А максимальный;

в) определить форму кривой м.д.с. в момент времени

$$t_2 = t_1 + \frac{2\pi}{3}.$$

Кривая тока синусоидальная. При расчетах принять число активных проводников в пазу равным 10 и номинальный ток проводника равным 25 А.

Вариант	Тип обмотки	Число пазов Z	Число полюсов $2p$
1	Однослойная, двухплоскостная двухслойная	36	6
		54	6
2	Однослойная, двухплоскостная двухслойная	48	4
		72	6
3	Однослойная, с одинаковыми секциями двухслойная	30	2
		36	4
4	Однослойная, двухплоскостная двухслойная	36	6
		48	4
5	Однослойная, с одинаковыми секциями двухслойная	60	4
		54	6
6	Однослойная, с одинаковыми секциями двухслойная	48	8
		36	6
7	Однослойная, с одинаковыми секциями двухслойная	36	2
		36	6
8	Однослойная, двухплоскостная двухслойная	60	4
		24	4
9	Однослойная, двухплоскостная двухслойная	24	2
		72	8
0	Однослойная, с одинаковыми секциями двухслойная	72	8
		36	6

Развернутую схему начертить для всех трех фаз, желатель-
но разноцветными карандашами. На одной схеме отметить на-
правления токов для некоторого момента времени. Для вычис-
ления обмоточных коэффициентов и м.д.с. можно найти спра-
вочные данные в любом учебнике.

Контрольная работа № 4

Асинхронные машины

1. Данные трехфазного асинхронного двигателя с коротко-
замкнутым ротором (на частоту 50 гц) приведены в таблице 6.
Требуется:

а) рассчитать и начертить рабочие характеристики:

$$n, M, I_1, P_1, \eta, \cos \varphi_1 = f(P_2) \quad \text{и} \quad n = f(M)$$

б) сравнить полученные величины номинального режима с
величинами, приведенными в таблице, и объяснить причины
расхождения.

2. Данные трехфазного асинхронного двигателя с фазным
ротором (на частоту 50 гц) приведены в таблице 7. Требу-
ется:

а) определить сопротивление пускового реостата, если пуск
производится с максимальным моментом, и значение максимал-
ного момента. Найти отношение максимального момента к номи-
нальному;

б) найти скольжение двигателя и скорость вращения, если
напряжение сети на 25% ниже номинального напряжения, обмо-
тка ротора соединена накоротко;

в) начертить кривые $M = f(s)$, если скольжение изменяет-
ся от 0 до 1, и сопротивление реостата, включенного в цепь
ротора, равняется:

Т а б л и ц а 6

	В а р и а н т ы									
	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность P_2 квт	14	4,5	7	2,8	10	7	10	4,5	4,5	1,4
Номинальное линейное напряжение U_1 в	380	380	380	380	380	380	380	380	380	220
Номинальный ток стато- ра I_1 а	31,2	9,85	14,1	6,6	23,25	14,1	19,3	9,7	9,15	5,5
Номинальная скорость вращения n_n об/мин	729	955	2895	956	722	1444	2919	1441	2910	1432
Номинальный к.п.д. η %	88,8	84,7	86,9	82,5	85,7	87,1	88,4	85,6	83,6	83,2
Номинальный коэф. мощности $\cos \varphi_n$ -	0,768	0,820	0,871	0,782	0,764	0,868	0,893	0,825	0,895	0,805
Активное сопротивление статорной обмотки r_1 ом 20°C	0,169	0,882	0,588	1,597	0,452	0,507	0,341	0,934	0,921	2,61
Актив.сопр. роторной обмотки r_2' ом	0,240	1,030	0,527	1,800	0,748	0,586	0,443	1,06	0,816	3,94
Реакт.сопротивление статорной обмотки X_1 ом	0,634	1,680	1,250	2,50	0,833	1,09	0,569	1,805	1,920	3,33
Реактивное сопротивление роторной обмотки X_2' ом	0,717	1,762	1,09	2,62	0,863	1,11	0,636	1,895	1,680	3,75
Ток холостого хода I_0 а	13,25	4,36	4,23	3,14	8,05	4,31	5,42	3,66	2,46	2,8
Потери холостого хода P_0 вт	764	303	358	235	411	381	531	261	441	132
Механические потери P_m вт	100	50	145	52	45	110	165	55	290	16
Соединение статорной обмотки	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Δ

- 1) нулю;
- 2) половине сопротивления, которое обеспечивает пуск с максимальным моментом (смотри пункт а);
- 3) сопротивлению, которое обеспечит пуск с максимальным моментом.

М е т о д и ч е с к и е у к а з а н и я

При решении использовать схему замещения, у которой намагничивающая ветвь выведена на зажимы (см. схему в учебнике).

Рабочие характеристики рассчитываются при разных значениях скольжения ($s = 0 \dots 1,5 s_n$), результаты расчета представляются в виде таблицы. Рассчитать для пяти значений скольжения.

Сначала нужно определить параметры схемы замещения, а затем ток ротора I_2' , ток статора I_1 , потери, потребляемую мощность P_1 и полезную мощность на валу P_2 .

При расчете потерь нужно учитывать и добавочные потери (ГОСТ 183-66), используя формулу

$$P_{\text{доб}} = 0,005 \cdot P_{1н} \left(\frac{I_1}{I_{1н}} \right)^2.$$

Механические потери и потери в стали можно считать постоянными. Вычерчивая по данным расчета рабочие характеристики, находим из них величины, соответствующие номинальному режиму, и сравниваем их с заданными величинами.

2. Номинальный момент вращения находим по общеизвестной формуле по скорости вращения и мощности.

Сопротивление пускового реостата находим на основании максимального момента, используя выражения, которые даны в каждом учебнике.

Таблица 7

	В а р и а н т ы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность P_2 , кВт	29	14,7	3,8	6	13	8,7	7,3	22	5	19
Номинальное напряжение U_I в	220	220	380	380	380	380	220	220	220	220
Номинальный ток I_I а	103,5	52	8,2	13,5	29	18,7	30,2	80	21,6	71,6
Номинальная скорость вращения n_2 об/мин	940	1440	1440	730	1440	940	740	940	730	740
Активное сопротивление статора r_1 ом	0,150	0,31	1,8	0,8	0,3	0,5	1,1	0,20	0,7	0,2
Активное сопротивление ротора r_2' ом	0,206	0,38	1,81	1,0	0,35	0,51	1,05	0,26	0,88	0,33
Реактивное сопротивление статора X_1 ом	0,322	0,7	3,01	1,52	0,7	1,07	2,00	0,4	1,60	0,6
Реактивное сопротивление ротора X_2' ом	0,354	0,73	3,00	2,00	0,79	1,10	2,06	0,5	1,19	0,83
Реактивное сопротивление намагничивающей ветви X_{12} ом	3,03	7,52	31,5	17,1	7,6	12,0	24,1	4,01	12,5	6,5
Способ соединения статорных обмоток	Δ	Δ	Y	Y	Y	Y	Δ	Δ	Δ	Δ

Скорость вращения при пониженном напряжении сети находим при помощи выражения момента, в котором неизвестным будет скольжение S .

При уменьшении напряжения уменьшается и насыщение магнитной цепи, а в связи с этим и x_{I2} и C_{I1} .

Можно предположить, что x_{I2} изменяется в зависимости от тока холостого хода.

Поэтому находим сперва ток холостого хода при пониженном напряжении U_{1*} из формулы:

$$\frac{I_0}{I_{0н}} = \frac{0,18 + 0,16 U_{1*}}{1 - 0,66 U_{1*}},$$

где $U_{1*} = \frac{U_1}{U_{1н}}$ — относительное напряжение (относительно номинального напряжения).

Реактивное сопротивление намагничивающей ветви x_{I2} при напряжении U_1 находим теперь из формулы:

$$\frac{x_{I2}}{x_{I2}} = \frac{U_1}{I_0} : \frac{U_{1н}}{I_{0н}}.$$

Контрольная работа № 5

Синхронные машины

Для синхронного генератора, данные которого приведены в таблице 8:

- 1) вычертить диаграммы э.д.с. и м.д.с. для номинальной нагрузки, найти по ним номинальный ток возбуждения и увеличение напряжения в процентах при переходе к холостому ходу;
- 2) вычертить внешнюю характеристику при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной нагрузки;
- 3) построить U -образные кривые для номинальной нагрузки и для половинной номинальной нагрузки;

Т а б л и ц а 8

Наименование	В а р и а н т ы									
	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность P_H —квт	650	25000	40000	15000	400	24000	1000	115000	18700	540
Номинальное напряжение U_H В	6,3	10,5	13,2	6,6	3,15	10,5	0,525	10,5	10,5	3,15
Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_n$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Номинальная скорость вращения n об/мин	1000	3000	83,2	167	1000	214	3000	62,5	187	750
Акт.сопротивление ста- торной обмотки r_a ом 75°C	0,52	0,0065	0,183	0,0182	0,23	0,0225	0,00152	0,0054	0,0324	0,16
Реактивное сопротивле- ние рассеяния статорной обмотки X_s ом	4,3	0,381	0,436	0,484	2,25	0,55	0,0175	0,154	0,885	1,47
Синхронное ненасыщенное реактивное сопротивле- ние X_d ом	110,0	7,7	3,35	3,25	48,7	5,0	0,325	0,826	6,54	34,0

4) определить электромагнитную мощность, найти предел статической устойчивости и перегружаемость.

Методические указания

Вычерчивание диаграмм э.д.с. и м.д.с. произвести так, как указано в учебниках, причем эти диаграммы нужно построить в относительных единицах.

Для построения внешней характеристики использовать диаграммы э.д.с. и м.д.с., U-образные характеристики построить при помощи векторных диаграмм (см. в учебниках). Угол θ находится также при помощи векторной диаграммы.

В таблице 8 дано только X_d .

У неявнополюсных машин $X_q = X_d$.

Для явнополюсных машин можно принять $X_q = 0,6 X_d$.

Т а б л и ц а 9

Нормальная характеристика холостого хода

i_e	I	I,5	2	2,5	3	3,5	Значения
U ₀ 0,58	I	I,2I	I,33	I,4	I,46	I,5I	Для турбогенераторов
U ₀ 0,58	I	I,23	I,30	-	-	-	Для явнополюсных генераторов

Контрольная работа № 6

Коллекторные машины переменного тока

I. Данные однофазного двигателя представлены в таблице IO. Требуется:

а) построить рабочие характеристики двигателя в относительных единицах:

$$U_* = f(n_*)$$

$$P_{1*} = f(n_*),$$

$$\cos \varphi = f(n_*),$$

если скорость вращения n изменяется в пределах $n = 0,5$
до $n = n_{\text{макс}}$;

б) найти в относительных единицах напряжение на зажимах U пусковую мощность $P_{\text{к}}$ и вращающий момент $M_{\text{к}}$, если пуск производится с током $1,4 I_{\text{н}}$.

Считать, что магнитная цепь машины ненасыщена. Угол между векторами тока и магнитного потока считать независимым от скорости вращения.

2. Данные трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором приведены в таблице II. Требуется:

а) найти значение добавочного напряжения, которое необходимо для изменения скорости вращения до $0,8 n_n$;

б) найти, какой будет коэффициент мощности при этой скорости.

Для регулирования скорости из фазокомпенсатора через контактные кольца подается добавочное напряжение (э.д.с.) в ротор. Добавочное напряжение (э.д.с.), подаваемое в ротор, сдвинуто по фазе относительно э.д.с. ротора на угол $\alpha = 12^\circ$ в сторону, когда коэффициент мощности улучшается.

М е т о д и ч е с к и е у к а з а н и я

Для получения относительных единиц считать базисным напряжением напряжение, соответствующее номинальной скорости вращения и номинальному моменту. Базисной мощностью считать мощность, потребляемую из сети при вышеуказанных условиях.

Т а б л и ц а 10

Наименование	В а р и а н т ы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность $P_{\text{н}}$ квт	1250	100	500	200	2000	250	300	900	700	1200
Номинальная скорость вращения $n_{\text{н}}$ об/мин	400	1600	850	1100	350	650	800	650	550	350
Максимальная скорость вращения $n_{\text{макс}}$ об/мин	650	2500	1300	1700	600	1100	1300	1100	850	550
Частота f гц	$16 \frac{2}{3}$	25	$16 \frac{2}{3}$	$16 \frac{2}{3}$	$16 \frac{2}{3}$	25	$16 \frac{2}{3}$	$16 \frac{2}{3}$	$16 \frac{2}{3}$	$16 \frac{2}{3}$
Число пластинок кол- лектора K	830	190	381	288	1324	400	184	484	488	838
Трансформаторная э.д.с. коммутации $E_{\text{тв}}$ в	3,5	3,65	3,45	3,75	2,1	3,9	3,1	3,75	2,8	3,58
Сумма всех реактивных сопротивлений потока рассеяния ΣX ом	0,01	0,06	0,03	0,045	0,005	0,03	0,048	0,014	0,05	0,01
Реактивное сопротивление обмотки возбуждения $X_{\text{тот}}$	0,018	0,18	0,035	0,145	0,005	0,08	0,058	0,032	0,065	0,015
Сумма всех активных со- противлений Σr ом	0,0025	0,02	0,012	0,032	0,002	0,012	0,018	0,004	0,015	0,0025
Угол сдвига фазы между током и магнитным пото- ком α	8°	7°	7°	$9,0^\circ$	9°	$7,5^\circ$	$7,5^\circ$	$7,5^\circ$	7°	8°
Коэффициент полезного действия η %	92,7	88	91,7	92	93,1	90,5	90,7	92,5	90,8	93,1

На якоре простая петлевая обмотка (p=a)

Т а б л и ц а II

Наименование	В а р и а н т ы									
	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность P_2 кВт	700	2500	1000	300	1500	800	1200	2000	500	200
Номинальное напряжение $U_{1н}$ в	3000	3000	3000	3000	3000	300	6000	6000	3000	380
Номинальная скорость вращения n об/мин	500	500	750	600	650	500	600	350	750	800
Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_n$	0,900	0,87	0,845	0,83	0,895	0,895	0,88	0,865	0,87	0,87
Номинальный к.п.д. η %	92,5	94,7	93,1	90,5	93,6	92,8	94,0	94,3	90,0	92,6
Напряжение разомкнутой роторной обмотки U_2 в	580	1000	750	400	800	650	850	950	600	350
Номинальный ток ротора I_2 а	750	1380	900	400	900	800	910	1250	400	390

1. Для построения характеристик необходимые данные можно получить из векторной диаграммы (см. в учебнике).

Векторные диаграммы желательно построить при следующих значениях скорости вращения: $0,5n_n$; n_n ; $n_1 + \frac{n_{\text{макс}}}{2}$

Число витков секции якорной обмотки, число активных проводников и число пластин коммутатора связаны между собой формулой:

$$W_\alpha = \frac{N}{2K}$$

Это число витков нужно для вычисления э.д.с. вращения.

Ток якоря находим по формуле электромагнитной мощности, так как

$$P_{\text{эм}} = I + \eta$$

следовательно,

$$I_a = \frac{P_{\text{эм}}}{E \cdot \cos \alpha}$$

где E — э.д.с. вращения.

2. Для решения задачи необходимо построить векторную диаграмму (см. в учебнике). Для упрощения считаем, что вектор вторичного тока совпадает по фазе с вектором э.д.с. вторичной цепи.

Использованная литература

1. Программа, методические указания и контрольные задания по курсу "Электрические машины", Таллин, 1959.
2. В.Н. Богоявленский и Б.Б. Лурье. Электрические машины. Методические указания. М., 1959.
3. Программа курса "Электрические машины", Индекс П-34, 6 июля 1955 г.
4. Задания по машинам постоянного тока, трансформаторам, асинхронным машинам и синхронным машинам. Московский энергетический институт, 1948.
5. ГОСТ 183-66 и ГОСТ 401-41.

С о д е р ж а н и е

	Стр.
В в е д е н и е	3
I. Общие замечания по усвоению курса	4
Рекомендуемая литература	4
Общие методические указания.	6
II. Методические указания по курсу "Электрические машины"	9
1. Введение.	9
2. Машины постоянного тока	9
3. Трансформаторы	13
4. Общие вопросы теории машин переменного тока.	17
5. Асинхронные машины.	18
6. Синхронные машины	21
7. Вращающиеся преобразователи	25
8. Коллекторные машины переменного тока.	26
9. Заключение	27
III. Контрольные задания	28
1. Правила решения и оформления контрольных работ	28
2. Контрольная работа №1. Машины постоянного тока.	29
3. Контрольная работа №2. Трансформатор.	34
4. Контрольная работа №3. Общие вопросы теории машин переменного тока.	36
5. Контрольная работа №4. Асинхронные машины.	38
6. Контрольная работа №5. Синхронные машины.	42
7. Контрольная работа №6. Коллекторные машины переменного тока	44
Использованная литература	49

Одобрено на заседании кафедры
30 сентября 1967 г.

Сдано в печать 15/XI 1967 г.
Бумага 60x84. I/16. Печ. л. 3,25. Усл. печ. л. 3,02
Тираж 500. Зак. № 464 Ротапринт ТПИ.
Бесплатно

Бесплатно

XI

A-15566