

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра электротехники и авиационного электрооборудования
Е.Ж. Сапожникова

АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Пособие к изучению дисциплины

для студентов
III курса заочного обучения
направления 162500

Москва – 2013

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.А. Савелов

Сапожникова Е.Ж.

Авиационные электрические машины: пособие к изучению дисциплины.
- М.: МГТУ ГА, 2013 .-17 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Авиационные электрические машины» по Учебному плану для студентов III курса заочного обучения направления 162500.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 14.05.2013 г. и методического совета направления 28.05.2013 г.

1. Учебный план дисциплины

Дисциплина "Авиационные электрические машины" изучается на 3-м курсе.
Общий объем учебных часов – 144, из них:

лекции - 8 ч.,
лабораторные занятия – 8 ч.,
самостоятельная работа – 128 ч.,
контрольная работа – 20 ч. (самостоятельной работы),
форма контроля – экзамен.

2. Основные сведения о дисциплине

2.1. Цели освоения дисциплины. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Целью освоения дисциплины «Авиационные электрические машины» является формирование знаний студентов по направлению 162500 в области теории, конструкции, принципов работы, характеристик авиационных электрических машин, необходимых для грамотной эксплуатации бортовых электросистем.

Дисциплина «Авиационные электрические машины» относится к учебным дисциплинам вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы (далее — ООП) направления подготовки 162500 – «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов», квалификация (степень) – бакалавр-инженер.

Для успешного ее освоения студент должен владеть знаниями, умениями и навыками, сформированными при изучении таких дисциплин, как «Высшая математика», «Информатика и информационные технологии», «Инженерная и компьютерная графика», «Физика», «Электротехника», «Теория электромагнитного поля» и предполагает наличие знаний, умений и компетенций, предусмотренных этими дисциплинами, в частности, необходимо:

знать:

основные понятия электромагнетизма;

понятия и методы математического анализа, линейной алгебры;

свойства материалов: электропроводность, намагничиваемость;

основные законы и методы расчета электрических и магнитных цепей постоянного тока и переменного тока;

уметь:

дифференцировать и интегрировать функции;

производить вычисления с комплексными числами;

производить анализ и расчет электрических и магнитных цепей постоянного и переменного тока в установившихся и переходных режимах;

использовать современные прикладные программы для расчета и моделирования электрических цепей;

владеть:

правилами построения и чтения электрических схем;

методами решения систем линейных алгебраических и дифференциальных уравнений;

навыками работы с пакетами прикладных программ;

навыками практической безопасной работы с электротехническими устройствами и электроизмерительными приборами.

Освоение дисциплины «Авиационные электрические машины», которая по учебному плану бакалавриата направления подготовки 162500 – «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» изучается на 3-м курсе, необходимо для последующих дисциплин: «Системы электроснабжения воздушных судов», «Электрифицированное оборудование воздушных судов», «Автоматика и управление», «Авиационные приборы» и формирует соответствующие знания, умения и компетенции, необходимые для изучения этих дисциплин.

2.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Авиационные электрические машины» направлен на формирование у студентов следующих компетенций:

общекультурных:

способность в условиях современного развития науки и авиационной техники самостоятельно приобретать новые знания, используя различные формы обучения и информационно-образовательные технологии (ОК-4);

способность к самосовершенствованию, самореализации в изменяющихся социальных условиях и готовность при необходимости менять профиль своей профессиональной деятельности (ОК-5);

владение культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-8);

профессиональных:

способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-1);

способность применять знания на практике, в том числе владеть научным инструментарием, применяемым в области авиации (ПК-2);

способность проводить измерения и инструментальный контроль при эксплуатации авиационной техники, проводить обработку результатов и оценивать погрешности (ПК-4);

способность к поддержанию летной годности авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов (ПК-13).

В результате изучения дисциплины «Авиационные электрические машины» студент должен:

знать:

принцип действия, особенности конструкции авиационных электрических машин;

основные методы анализа свойств авиационных электрических машин;

уметь:

производить лабораторные испытания и исследование основных характеристик авиационных электрических машин;

распознавать неисправности при отказах различного рода и устранять их;

владеть:

методами расчета и анализа рабочих и эксплуатационных характеристик авиационных электрических машин.

3. Рекомендуемая литература

3.1. Основная литература

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы. - СПб.: Питер, 2008.

2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока.- СПб.: Питер, 2008.

3.2. Дополнительная литература

3. Панасюк Г.И., Попов И.А., Привалов Г.В. Авиационные электрические машины. - М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1985.

3.3. Учебно-методическая литература для выполнения лабораторных работ

4. Сапожникова Е.Ж. Электрические машины: пособие к выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2011.

5. Сапожникова Е.Ж. Авиационные электрические машины. Электрические машины постоянного тока: пособие к выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2013.

3.4. Учебно-методическая литература для выполнения контрольной работы

6. Сапожникова Е.Ж. Электрические машины: пособие по выполнению контрольной работы для студентов III курса специальности 160903 заочного обучения. – М.: МГТУ ГА, 2010.

4. Электронные средства информации

4.1. Электронные носители информации по дисциплине

Электронные ресурсы библиотеки Университета - электронные версии пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы.

Пакеты прикладных программ:

MathCad,

EletronicsWorkBench,
Multisim

4.2. Интернет-ресурсы:

<http://www.favt.ru/> - официальный сайт ФС ВТ;

<http://www.mstuca.ru/> - официальный сайт МГТУ ГА;

<http://www.iqlib.ru/> - электронная библиотечная система;

<http://www.vsyaelektrotehnika.ru/> - удобный справочник по дисциплине «Электротехника»;

<http://www.infosait.ru/> - библиотека стандартов.

5. Электронный адрес кафедры для консультаций

etiaeo@mstuca.aero

6. Структура дисциплины

Дисциплина «Авиационные электрические машины» состоит из следующих разделов:

- авиационные электрические машины постоянного тока,
- авиационные трансформаторы,
- авиационные асинхронные машины,
- авиационные синхронные машины.

7. Учебная программа дисциплины

Раздел 1. Авиационные электрические машины постоянного тока (2 ч.)

Лекция 1. Принцип действия, основные элементы конструкции электрических машин постоянного тока. Преобразование энергии в электрической машине. Генераторный и двигательный режим работы. ЭДС, электромагнитный момент и электромагнитная мощность машины постоянного тока. Магнитное поле машины постоянного тока при холостом ходе и при нагрузке. Сущность коммутационного процесса. Виды коммутации.

Способы возбуждения электрических машин постоянного тока. Условия и процесс самовозбуждения генератора с параллельным возбуждением. Характеристики авиационного генератора постоянного тока: холостого хода, внешняя, регулировочная, нагрузочная.

Вопросы для самостоятельной работы по разделу 1.

Потери и КПД. Нагревание и способы охлаждения авиационных электрических машин.

Авиационные двигатели постоянного тока, их технические и эксплуатационные характеристики. Основные соотношения, характеризующие их работу. Характеристики двигателей постоянного тока параллельного и последовательного возбуждения: скоростная, моментная, механическая. Способы пуска двигателей постоянного тока. Понятия о методах регулирования частоты вра-

щения, торможения и реверсирования двигателей постоянного тока. Условия устойчивой работы.

Методические указания к изучению раздела 1.

Литература: [1, с.12-42, 47-60, 84-124; 130-135, 142-186, 187-207, 216-240; 3, с.10-162].

Основные вопросы раздела 1:

- принцип действия и конструкция электрической машины, преобразование энергии в электрической машине, магнитная цепь машины, наведение ЭДС в якорной обмотке электрической машины при холостом ходе, возникновение и действие реакции якоря, коммутация и способы ее улучшения;

- генератор постоянного тока: основные соотношения, схемы возбуждения, характеристики (холостого хода, короткого замыкания, внешняя, регулировочная, нагрузочная);

- двигатели постоянного тока: зависимость свойств и характеристик от способа возбуждения, пуск, регулирование частоты вращения, торможение двигателей.

Следует уяснить, что с точки зрения электромагнитных процессов основными элементами электрической машины постоянного тока являются индуктор (часть машины, предназначенная для возбуждения машины, то есть для создания основного магнитного потока) и якорь (часть машины, в обмотке которой наводится ЭДС).

При изучении явления реакции якоря особое внимание необходимо уделить рассмотрению поперечной реакции якоря, зависимости ее качественного и количественного влияния от степени насыщения магнитной цепи машины.

Способы улучшения коммутации направлены на уменьшение добавочного тока коммутации, величина которого зависит от ЭДС в коммутируемой секции.

Необходимо четко уяснить, как и почему свойства и характеристики генератора постоянного тока зависят от способа его возбуждения. Очень важно понять физику процесса самовозбуждения генератора с параллельным возбуждением.

Основной характеристикой генератора является внешняя зависимость напряжения на его зажимах от тока нагрузки при постоянной частоте вращения и постоянном сопротивлении цепи возбуждения. Необходимо знать причины снижения напряжения при переходе от холостого хода к номинальной нагрузке, а также физику процесса «опрокидывания» внешней характеристики при достижении критического тока нагрузки.

Для двигателей основной характеристикой является механическая. Ее вид зависит от способа возбуждения двигателя. С помощью механической характеристики необходимо понять способы регулирования частоты вращения двигателя, способы его торможения. Также следует изучить пусковые свойства и ха-

рактеристики двигателей постоянного тока с различными способами возбуждения.

Контрольные вопросы к разделу 1

1. Каково назначение и конструкция индуктора электрической машины постоянного тока? Для чего предназначена якорная обмотка машины постоянного тока, какова ее конструкция?
2. Какова зависимость ЭДС якоря от формы кривой поля?
3. Что такое магнитная характеристика электрической машины? Как она может быть получена?
4. Чем физически объясняется размагничивающее действие поперечной реакции якоря в машине постоянного тока? В каких случаях это действие отсутствует?
5. Каким образом производится количественный учет размагничивающего действия поперечной реакции якоря в машине постоянного тока?
6. Что такое период коммутации? От чего зависит эта величина?
7. Что такое линейная коммутация? Каково условие ее получения?
8. В чем состоят особенности конструкции дополнительных полюсов (ДП)? Каково правило определения полярности ДП при работе машины в режиме генератора и двигателя?
9. Какие щетки (положительной или отрицательной полярности) больше изнашиваются у генераторов и у двигателей?
10. Как зависят основные потери машины постоянного тока и ее КПД от нагрузки?
11. При каком условии КПД машины постоянного тока максимален?
12. Сформулируйте условия самовозбуждения генератора постоянного тока и поясните ход процесса с помощью характеристики холостого хода генератора и вольт-амперной характеристики цепи возбуждения.
13. Изобразите в одних осях координат внешние характеристики генератора постоянного тока для двух случаев:
 - а) при питании его обмотки возбуждения от независимого источника;
 - б) при подключении обмотки возбуждения параллельно обмотке якоря генератора.
14. Что такое критический ток якоря ($I_{кр}$) генератора постоянного тока параллельного возбуждения? Объясните физику процесса "опрокидывания" внешней характеристики генератора.
15. Как влияет наличие добавочных полюсов на величину установившегося тока короткого замыкания генератора постоянного тока параллельного возбуждения?
16. Каким образом выбирается величина пускового сопротивления двигателя постоянного тока? Почему после окончания процесса запуска двигателя постоянного тока пусковой реостат должен быть выведен?

17. Каковы особенности запуска двигателя постоянного тока последовательного возбуждения?
18. Как обеспечить постоянство частоты вращения двигателя параллельного возбуждения при увеличении его момента нагрузки?
19. Как влияет степень насыщения магнитной системы двигателя постоянного тока последовательного возбуждения на вид его механической характеристики?
20. Перечислите и поясните способы регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока параллельного и последовательного возбуждения.
21. С какой целью в цепь якоря двигателя при динамическом торможении и при торможении противовключением вводится балластное сопротивление?
22. Как осуществляется реверс двигателей постоянного тока последовательного и параллельного возбуждения?

Раздел 2. Авиационные трансформаторы (2 ч.)

Лекция 2. Принцип действия, устройство и элементы конструкции однофазного трансформатора, ЭДС обмоток, коэффициент трансформации, явление магнитного рассеивания. Режим холостого хода трансформатора. Схема замещения и векторная диаграмма. Параметры трансформатора при холостом ходе.

Основные принципы приведения вторичной цепи к первичной и параметры приведенного трансформатора. Уравнения ЭДС и МДС приведенного трансформатора. Схема замещения. Векторные диаграммы при различных по характеру нагрузках. Напряжение короткого замыкания. Треугольник короткого замыкания. Изменение вторичного напряжения, внешняя характеристика трансформатора.

Устройство трехфазных трансформаторов, магнитодвижущие силы. Магнитные системы трехфазных трансформаторов. Высшие гармоники в кривых намагничивающего тока и ЭДС. Влияние на высшие гармоники способа соединения обмоток. Группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов. Основные группы, векторные диаграммы. Производные группы. Стандартные способы соединения обмоток.

Вопросы для самостоятельной работы по разделу 2.

Автотрансформаторы. Многообмоточные трансформаторы. Особенности конструкции и работы трансформаторов в составе авиационных выпрямительных устройств в зависимости от схемы выпрямления.

Методические указания к изучению раздела 2.

Литература: [1, с.242-283; 3, с.182-225].

Основные вопросы раздела:

- физика электромагнитных процессов в трансформаторе, наведение ЭДС в обмотках при холостом ходе и при нагрузке;
- основные уравнения трансформатора и векторные диаграммы для различных режимов работы, схема замещения трансформатора;

- конструкция трехфазных трансформаторов, группы соединения их обмоток;
- особенности конструкции и работы трансформаторов в составе авиационных трансформаторно-выпрямительных блоков.

При изучении теории трансформатора особое внимание следует обратить на схему замещения и векторные диаграммы. Важно понять физический смысл параметров схемы замещения и способ их определения по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

Необходимо четко уяснить порядок построения векторных диаграмм для различных режимов работы и возможность их применение для анализа работы трансформатора.

Для трехфазных трансформаторов важное практическое значение имеет умение определять группу соединения в зависимости от схемы и способа соединения фаз его обмоток.

Для трансформаторов, работающих на выпрямительную нагрузку, наиболее нежелательным является подмагничивание их магнитопроводов постоянными составляющими вторичных токов. Необходимо четко уяснить, какие схемы соединения обмоток трансформаторов и какие конструкции сердечников позволяют исключить или значительно уменьшить одностороннее подмагничивание.

Контрольные вопросы к разделу 2

1. Какова форма кривой намагничивающего тока однофазного трансформатора при насыщенном и ненасыщенном магнитопроводе и синусоидальном питающем напряжении? Ответ поясните с помощью магнитной характеристики трансформатора.
2. Что такое коэффициент трансформации K ? Чему равен коэффициент трансформации для понижающего, повышающего трансформатора?
3. Какое превышение питающего напряжения по сравнению с номинальным значением $U_{\text{ном}}$ считается допустимым для трансформатора?
4. Как изменяется ток в первичной обмотке трансформатора с ростом вторичного тока (тока нагрузки)? Почему?
5. Что такое номинальное напряжение короткого замыкания? Дайте определение. Поясните с помощью векторной диаграммы.
6. Чему равна активная мощность, потребляемая трансформатором в режиме холостого хода и в режиме короткого замыкания при номинальном токе?
7. Как изменяется ток холостого хода трансформатора I_0 , мощность P_0 , коэффициент мощности $\cos\varphi_0$ при увеличении питающего напряжения U_1 ?
8. Какую величину и характер имеет ток, потребляемый трансформатором из сети, при чисто активной нагрузке? Покажите на векторной диаграмме.
9. Что такое изменение вторичного напряжения при переходе от холостого хода к номинальной нагрузке? Как определить эту величину с помощью упрощенной векторной диаграммы?

10. При каких условиях вторичное напряжение увеличивается с ростом тока нагрузки? Почему?
11. Какие группы соединений трехфазных трансформаторов могут быть получены при одноименном, например, Y/Y (звезда - звезда), и разноименном, например Y/Δ (звезда - треугольник) соединении их обмоток?
12. Что такое типовая мощность трансформаторов выпрямительных устройств?
13. Сравните массу, габариты и укажите конструктивные особенности однофазных авиационных трансформаторов, работающих на двухполупериодную схему выпрямления со средней точкой, и мостовую схему.
14. По какой схеме необходимо соединять первичную обмотку трехфазного авиационного трансформатора, предназначенного для питания трехфазной схемы выпрямления, со средней точкой? Почему?
15. В чем состоят преимущества и недостатки авиационных трансформаторно-выпрямительных блоков с трехфазной мостовой схемой выпрямления?

Раздел 3. Авиационные асинхронные машины (2 ч.)

Лекция 3. Образование вращающегося магнитного поля в электрических машинах переменного тока: неподвижное в пространстве поле однофазной обмотки, круговое и эллиптическое поле двухфазной обмотки, вращающееся поле трехфазной обмотки.

Принцип действия асинхронной электрической машины. Основные соотношения и режимы работы. Механическая характеристика асинхронной машины. Пусковой, максимальный и номинальный моменты. Кратность пускового момента и перегрузочная способность асинхронного двигателя. Критическое скольжение. Устойчивость работы асинхронного двигателя.

Регулирование частоты вращения трехфазных асинхронных двигателей (изменением частоты, напряжения, числа полюсов; импульсный метод регулирования). Способы торможения, реверс.

Вопросы для самостоятельной работы по разделу 3.

МДС обмоток переменного тока, их индуктивные сопротивления.

Наведение ЭДС в обмотках машин переменного тока при синусоидальном и несинусоидальном поле. Обмоточные коэффициенты.

Однофазные авиационные асинхронные и конденсаторные двигатели. Области применения, устройство, принцип действия, элементы конструкции, электрическая схема, основные соотношения, способы пуска в ход, механические характеристики.

Двухфазный асинхронный двигатель. Способы регулирования частоты вращения. Исполнительный двигатель с полым ротором, элементы конструкции, характеристики.

Однофазные индукционные системы синхронной связи. Область применения их в авиации. Однофазные индикаторные и трансформаторные сельси-

ны. Технические и эксплуатационные данные авиационных сельсинов. Проявления отказов, возможные последствия.

Вращающиеся трансформаторы: общие сведения, устройство, классификация, принцип действия, режимы работы, область применения в авиационном оборудовании.

Методические указания к изучению раздела 3.

Литература: [2, с.14-155; 3, с.226-376].

Необходимо ясно понимать, что работа электрических машин переменного тока основана на использовании явления вращения магнитного поля. Для получения вращающегося магнитного поля необходимо иметь не менее двух обмоток, оси которых должны быть сдвинуты в пространстве, а МДС этих обмоток должны иметь сдвиг во времени.

Асинхронная электрическая машина имеет две обмотки, расположенные на статоре и на роторе, каждая из которых создает вращающееся поле. МДС этих обмоток имеют одинаковую частоту вращения, то есть неподвижны друг относительно друга. Ротор асинхронной машины отстает от поля (или опережает его). Относительная разность частот вращения поля и ротора называется скольжением.

Теория асинхронной машины базируется на теории трансформатора. Поэтому для анализа процессов в асинхронной машине также широко применяются схемы замещения и векторные диаграммы.

Основной характеристикой асинхронной машины является механическая характеристика - зависимость электромагнитного момента машины M от скольжения s . Анализируя зависимость $M(s)$, следует четко различать такие величины, как момент холостого хода, номинальный, максимальный, пусковой моменты и соответствующие этим моментам скольжения - холостого хода, номинальное, критическое и скольжение, равное единице. Необходимо также знать, как эти величины зависят от питающего напряжения, его частоты и параметров обмоток машины.

Контрольные вопросы к разделу 3

1. В чем состоит отличие кругового вращающегося поля от эллиптического? Каковы условия получения кругового поля?
2. Какие составляющие имеет обмоточный коэффициент?
3. Как влияет увеличение нагрузки на основной магнитный поток асинхронной машины при постоянстве амплитуды приложенного напряжения?
4. В чем различие схем замещения и векторных диаграмм асинхронной машины и трансформатора?
5. Может ли асинхронный двигатель работать при скольжении $s = 0$?
6. Как и почему изменяется частота вращения асинхронного двигателя при увеличении нагрузки?

7. Какова зависимость максимального и пускового момента трехфазного асинхронного двигателя от величины питающего напряжения и его частоты, от активного сопротивления обмотки ротора?
8. Каким образом можно ограничить пусковой ток трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
9. Как можно перевести трехфазный асинхронный двигатель в режим электромагнитного тормоза?
10. Как регулируется частота вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
11. Чему равен пусковой момент однофазного асинхронного двигателя?
12. Из каких соображений выбирается величина емкости пускового конденсатора для однофазного асинхронного двигателя?
13. Какую конструкцию имеет двухфазный асинхронный двигатель?
- 14). Какой способ управления используется в авиационном конденсаторном исполнительном двигателе с полым ротором?
15. Чем объясняется значительная (до $0,9 \cdot I_{ном}$) величина тока холостого хода авиационного асинхронного двигателя с полым ротором?
16. Как осуществляется реверс асинхронного двигателя с полым ротором?
17. Каковы условия отсутствия самохода в асинхронном двигателе с полым ротором?
18. Как зависит пусковой момент асинхронного двигателя с полым ротором от напряжения управления?
19. Как влияет уменьшение толщины стенки полого ротора асинхронного исполнительного двигателя на вид его механических характеристик?
20. Что такое коэффициент трансформации и коэффициенты передачи синусной и косинусной обмоток авиационного вращающегося трансформатора?
21. Каковы цель и условия симметрирования вращающегося трансформатора?
22. От чего зависит величина синхронизирующего момента сельсина?
23. Чем отличается согласованное положение сельсинов в индикаторной и трансформаторной схемах синхронной связи?
24. В каких случаях применяются индикаторная и трансформаторная схемы включения авиационных сельсинов? В чем их отличие?

Раздел 4. Авиационные синхронные машины (2ч.)

Лекция 4. Принцип работы синхронной электрической машины. Основные элементы конструкции явно- и неявнополюсных синхронных машин. Магнитное поле синхронной машины при холостом ходе. Зависимость реакции якоря от характера нагрузки.

Уравнения ЭДС и МДС синхронного генератора. Векторные диаграммы синхронных явно- и неявнополюсной машин с насыщенной и ненасыщенной магнитными системами при различных по характеру нагрузках. Синхронные индуктивные сопротивления.

Характеристики трехфазного синхронного генератора при симметричной нагрузке в установившемся режиме работы: внешняя, регулировочная, нагрузочная и трехфазного короткого замыкания. Изменение напряжения при сбросе нагрузки. Отношение короткого замыкания (ОКЗ).

Особенности конструкции и принципиальная электрическая схема авиационного синхронного генератора серии ГТ.

Вопросы для самостоятельной работы по разделу 4

Однофазный синхронный генератор. Область применения. Особенности реакции якоря. Гашение обратного поля. Сравнительная оценка однофазного и трехфазного синхронных генераторов.

Гистерезисный двигатель, принцип действия, асинхронный и синхронный режим работы, электромагнитная мощность и момент, область применения.

Методические указания к изучению раздела 4

Литература: [2, с.196-267; 3, с.231-234, 377-403, 412-416, 429-447].

При изучении синхронных машин важно понять сущность и необходимость применения теории двух реакций для анализа электромагнитных процессов в явнополюсных синхронных машинах.

Нужно понять физику такого явления, как реакция якоря, и его влияние на работу явно- и неявнополюсных синхронных машин.

Следует уяснить, что напряжение на зажимах синхронного генератора является результатом действия составляющих магнитного поля, наводящих ЭДС в обмотке якоря генератора. В комплексной форме напряжение генератора может быть представлено в виде суммы соответствующих ЭДС. Изобразив эти комплексные векторы на плоскости, можно получить векторную диаграмму.

Особое внимание следует уделить изучению конструктивных особенностей авиационных синхронных генераторов серии ГТ, которые представляют собой систему из трех явнополюсных синхронных машин: подвозбудителя, возбудителя и основного генератора, включенных каскадно и установленных на одном валу в одном корпусе.

Авиационный трехфазный синхронный генератор является основным источником в системах электроснабжения современных магистральных воздушных судов гражданской авиации. В связи с этим необходимо знать вид его основных характеристик: внешней, регулировочной, нагрузочной и зависимость их от характера нагрузки генератора.

При изучении однофазного синхронного генератора следует помнить, что однофазная обмотка переменного тока создает изменяющееся во времени, но неподвижное в пространстве магнитное поле, которое может быть представлено в виде суммы прямо- и обратно-вращающихся полей. С этой точки зрения и следует рассматривать особенности реакции якоря однофазного синхронного

генератора, а также необходимость применения демпферной обмотки для «гашения» обратного поля.

Рассматривая конструкцию и принцип действия гистерезисного двигателя, следует помнить, что процесс намагничивания ротора и образования гистерезисного момента является для этого двигателя рабочим. После намагничивания двигатель работает как синхронный.

Контрольные вопросы к разделу 4

1. В чем смысл применения теории двух реакций?
2. Каково влияние величины воздушного зазора и степени насыщения магнитной цепи на индуктивные сопротивления синхронной машины?
3. Как, используя векторную диаграмму, получить характеристики синхронной машины?
4. Нарисуйте электрическую схему авиационного трехфазного синхронного генератора. Поясните принцип его работы.
5. Чем определяется влияние характера нагрузки генератора на вид его внешних характеристик и величину $\Delta U_{\text{ном}}$?
6. От чего зависит величина установившегося тока трехфазного симметричного короткого замыкания?
7. Как зависит от характера нагрузки авиационного синхронного генератора кратность регулирования его тока возбуждения?
8. Укажите особенности реакции якоря однофазного явнополюсного синхронного генератора.
9. Обоснуйте необходимость демпферной обмотки в однофазном явнополюсном синхронном генераторе.
10. Сравните габаритные мощности однофазного и трехфазного синхронного генератора. Как при этом отличается величина массы на единицу мощности?
11. Поясните принцип действия гистерезисного двигателя. Укажите особенности его конструкции.
12. Какую механическую характеристику имеет гистерезисный двигатель? Поясните ее вид.

8. Терминология дисциплины (понятийный аппарат)

Основной понятийный аппарат дисциплины «Авиационные электрические машины» нормируется государственным стандартом ГОСТ 27471-97 «Машины электрические вращающиеся. Термины и определения».

Некоторые основные понятия: генераторный и двигательный режим работы электрической машины, принцип обратимости.

Магнитопровод, явление насыщения, магнитное рассеяние.

Обмотки. ЭДС обмоток, электромагнитный момент и электромагнитная мощность.

Реакция якоря. Коммутация машин постоянного тока. Способы возбуждения.

Характеристики электрических машин. Потери и КПД.

Пуск, торможение, реверс, регулирование частоты вращения, устойчивость работы электрических двигателей.

Вращающееся магнитное поле: круговое, эллиптическое.

Асинхронные электрические машины. Скольжение.

Синхронные электрические машины: явнополюсные и неявнополюсные.

9. Лабораторные занятия, их тематика и объем в часах

Литература: [4,5].

ЛР 1. Исследование авиационного генератора постоянного тока параллельного возбуждения - 4 часа (раздел 1).

Цель и содержание работы - ознакомление с конструкцией авиационных генераторов постоянного тока и снятие их основных характеристик.

ЛР 2. Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором - 4 часа (раздел 3).

Цель и содержание работы: ознакомление с конструктивным выполнением асинхронных машин; определение параметров асинхронного двигателя опытным путем; получение рабочих характеристик методом непосредственной нагрузки.

10. Контрольная работа, ее характеристика

Контрольная работа по дисциплине «Авиационные электрические машины» включает 4 задачи по разделам: «Авиационные электрические машины постоянного тока», «Авиационные трансформаторы», «Авиационные асинхронные машины», «Авиационные синхронные машины».

Выполнение контрольной работы является важным элементом освоения студентом-заочником учебной дисциплины, так как позволяет применить на практике изученный теоретический материал и закрепить полученные знания.

Общие методические указания, требования к оформлению контрольной работы, указания к выбору варианта, примеры выполнения заданий и методические рекомендации к решению содержатся в пособии [6].

Затраты времени на выполнение контрольной работы – 20 часов самостоятельной работы.

Содержание

1. Учебный план дисциплины.....	3
2. Основные сведения о дисциплине.....	3
3. Рекомендуемая литература.....	5
4. Электронные средства информации.....	5
5. Электронный адрес кафедры для консультаций.....	6
6. Структура дисциплины.....	6
7. Учебная программа дисциплины.....	6
8. Терминология дисциплины (понятийный аппарат).....	15
9. Лабораторные занятия, их тематика и объем в часах....	16
10. Контрольная работа, ее характеристика.....	16