

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»

Кафедра технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов

В.П. Зыль, А.А. Савелов

ЭЛЕКТРО И ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

ПОСОБИЕ по изучению дисциплины и контрольные задания

для студентов VI курса специальности 160905 заочного обучения

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина "Электро и приборное оборудование воздушных судов" состоит из двух частей.

В первой части рассматривается электрооборудование воздушных судов, во второй части - приборное оборудование.

Разделы дисциплины должны быть изучены студентами самостоятельно по программе в такой последовательности: назначение, теоретические основы, принцип действия, устройство, характеристики, погрешности, особенности эксплуатации.

Наибольшее внимание следует уделить уяснению физической сущности явлений и процессов, описанию их математическими уравнениями и соотношениями, знанию основных выводов.

После изучения соответствующего раздела дисциплины нужно ответить на вопросы для самопроверки. В процессе изучения студенты должны проделать лабораторные работы по обеим частям и выполнить контрольную работу.

Контрольную работу следует выполнять в тетради, чернилами или шариковой ручкой, четко, без помарок.

На листах тетради необходимо оставить поля для замечаний рецензента. Работа должна быть обязательно подписана. Без подписи она считается недействительной и возвращается студенту без рассмотрения.

Все принципиальные схемы, чертежи, рисунки должны выполняться в соответствии с ЕСКД и ГОСТ, вычисления - производиться в системе единиц СИ.

Обязательно приводится условие задачи и подробные пояснения к ходу решения. Описательный материал по второй части дается в произвольной форме, но желательно в следующей последовательности:

1. Назначение прибора, агрегата, системы.
2. Основные технические данные.
3. Краткое устройство или принципиальная схема.
4. Принцип действия.
5. Основные вопросы эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синдеев И.М. Савелов А.А. Системы электроснабжения воздушных судов. - М: Транспорт, 1990.
2. Савелов А.А. Энергосиловое оборудование аэропортов. - М.: МГТУГА, 2000.
3. Савелов А.А. Системы электроснабжения воздушных судов. Лабораторные работы 4.1. - М.: МГТУГА, 2003.
4. Савелов А.А. Системы электроснабжения воздушных судов. Лабораторные работы 4.2. - М.: МГТУГА, 2003.
5. Вольдек А.И. Электрические машины. - Л.: Энергия, 1974.
6. Электрооборудование воздушных судов. / Под ред. С.А. Решетова. -М.: Транспорт, 1991.
7. Авиационные приборы и измерительные системы / Под ред. В.Г. Воробьева. - М.: Транспорт, 1981.
8. Воробьев В.Г., Зыль В.П., Кузнецов С.В. Комплексы цифрового пилотажно-навигационного оборудования. Части 1и2. - М., МГТУГА, 1998.
9. Воробьев В.Г., Глухов В.В., Зыль В.П., Кузнецов С.В. Основные принципы построения базового комплекса стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования. - М.: МИИГА, 1988.
10. Михайлов О.И. Козлов Н.М., Гергель Ф.С. Авиационные приборы. -М: Машиностроение, 1977.
11. Браславский Д.А., Логунов С.С., Пельтюр Д.С. Авиационные приборы и автоматы. - М.: Машиностроение, 1978.

Тема 1. Общие вопросы электрооборудования воздушных судов

История развития электрооборудования воздушных судов (ВС). Роль и значение систем электрооборудования в обеспечении безопасности и регулярности полетов. Условия работы систем электроснабжения на летательных аппаратах. Общие технико-экономические требования, предъявляемые к электрооборудованию. Классификация электрооборудования.

Методические указания

При изучении вводной части дисциплины необходимо ознакомиться с основными типами авиационного оборудования, с влиянием его на функционирование всех других систем летательного аппарата. Особенно большое внимание следует обратить на те специфические условия работы и требования, которые характерны для электрооборудования, предназначенного для работы на борту летательного аппарата. Кроме того, необходимо ознакомиться с требованиями ГОСТ 19705 к качеству электрической энергии на борту воздушного судна.

Литература [1,6].

Тема 2. Химические источники тока Назначение аккумуляторных батарей. Кислотные и щелочные аккумуляторные батареи, типы, устройства, характеристики. Основные сведения по эксплуатации аккумуляторных батарей. Техника безопасности при установке и эксплуатации аккумуляторных батарей.

Методические указания

При изучении химических источников электрической энергии необходимо уяснить особенности физических и химических процессов, протекающих в аккумуляторах. Необходимо изучить типы самолетных и аэродромных батарей, их технические данные, основные правила эксплуатации. Особое внимание следует уделить никелькадмиевым аккумуляторным батареям - основным химическим источникам на борту.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные характеристики аккумуляторных батарей.
2. Что представляет собой емкость аккумулятора и от чего она зависит? 3.Что такое саморазряд аккумулятора и каковы причины его возникновения?
4. Как влияет температура на характеристики аккумуляторов?
5. Что такое "тепловой разгон" аккумулятора , его причины? Литература [1].

Тема 3. Генерирование постоянного тока на воздушных судах.

Устройство и принцип действия электрических машин постоянного тока. Реакция якоря в машинах постоянного тока. Коммутация. Авиационные генераторы постоянного тока , их основные характеристики. Бесконтактные генераторы постоянного тока. Регулирование напряжения генераторов постоянного тока. Принцип действия и конструкция угольных регуляторов напряжения, способы повышения точности стабилизации напряжения и повышения устойчивости работы. Регуляторы напряжения на полупроводниковых приборах.

Методические указания

Необходимо усвоить процесс образования электродвижущей силы в обмотках якоря. Изучить основные типы обмоток якоря: волновые и петлевые. Особое внимание следует обратить на образование результирующего магнитного поля машины, на искажение формы кривой результирующего поля под влиянием реакции якоря, на способы компенсации реакции якоря.

При изучении коммутации обратить внимание на возникновение ЭДС от внешних полей, условия возникновения искрения на коллекторе и им способы улучшения коммутации. Нужно отчетливо представлять отличие характеристик генераторов с независимым, параллельным и смешанным возбуждением и причины ною различия, ознакомиться с построением характеристик при помощи характеристического треугольника, с физикой процесса самовозбуждения генератора с параллельным возбуждением. Уяснить влияние режима работы генератора на его электромагнитный момент.

Следует обратить внимание на конструктивные особенности авиационных электрических машин постоянного тока и специфику их эксплуатации. Необходимо детально изучить конструкцию одного из генераторов серии ГСР или СТГ.

При изучении регуляторов напряжения особенно большое внимание следует уделить тому, как обеспечивается в регуляторах напряжения управление значительной мощностью в цепи возбуждения. Изучить построение измерительных органов регуляторов, способы повышения точности и устойчивости систем регулирования. Большое внимание следует уделить дискретному принципу регулирования напряжения, на котором построены полупроводниковые регуляторы напряжения.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности конструкции авиационных электрических машин?
 2. Нарисуйте графики основных характеристик генераторов постоянного тока?
 3. Каковы преимущества и недостатки генераторов параллельного возбуждения в сравнении с генераторами независимого возбуждения?
 4. Перечислите условия самовозбуждения генератора параллельного возбуждения.
 5. Каково назначение добавочных полюсов?
 6. От каких факторов зависит точность угольного регулятора напряжения?
 7. Почему наличие двух стабилизаторов, вместо одного, позволяет увеличить чувствительность измерительного органа управления?
 8. Почему транзисторные регуляторы напряжения работают в ключевом режиме ?
- Литература [1, 2, 5].

Тема 4. Защита энергоузлов постоянного тока.

Общая характеристика аварийных ситуаций и энергоузлов постоянного тока, характеристики защитной аппаратуры Дифференциальная защита, 7

дифференциально-минимальное реле, автоматы защиты от перенапряжения. Требования к системам защиты и коммутационной аппаратуре.

Методические указания

При изучении этой темы необходимо уяснить возможные аварийные ситуации в энергоузлах постоянного тока и причины их возникновения. Особое внимание следует уделить специфическим требованиям к защите селективности, быстрдействию и чувствительности.

При изучении дифференциально-минимальных реле обратить внимание на отличия в различных модификациях этих электрических аппаратов.

При изучении автоматов защиты от перенапряжения обратить внимание на особенности подключения их измерительных органов.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы причины возникновения аварийных ситуаций в энергоузлах постоянного тока?
 2. Какие вы знаете виды защиты в энергоузлах постоянного тока?
 3. Каким образом достигается высокое быстродействие и селективность при защите от токов короткого замыкания?
 4. С какой целью время срабатывания автоматов защиты от перенапряжения выбирается зависимым от величины перенапряжения?
 5. Защищает ли дифференциально-минимальное реле типа ДМР генератор при перепутанной полярности аккумуляторной батареи?
- Литература [1].

Тема 5. Параллельная работа генераторов постоянного тока

Необходимость параллельной работы генераторов, назначение и работа уравнивающей цепи, условия выравнивания токов нагрузки между параллельно работающими генераторами.

Методические указания

Студенты должны изучить требования, предъявляемые к авиационным * электроэнергетическим узлам по точности распределения нагрузок между генераторами при параллельной работе, методы распределения нагрузок, метод статистических характеристик, метод мнимого статизма.

Особое внимание следует уделить методу мнимого статизма, так как данный метод положен в основу организации параллельной работы самолетных генераторов.

Необходимо изучить схемы включения уравнивающих обмоток при параллельной работе генераторов постоянного тока, а также характер распределения токов работающих генераторов при различии их

сопротивлений в плюсовых цепях, балластных сопротивлений и при неодинаковой настройке регуляторов напряжения.

Вопросы для самопроверки

1. В чем достоинства и недостатки параллельной работе генераторов постоянного тока?
 2. Почему при параллельной работе генераторов постоянного тока особенно тщательно должно быть обеспечено равенство сопротивлений в минусовых цепях генераторов?
 3. Почему при отключении генератора от параллельно работающих других генераторов его уравнивающая цепь должна обязательно отключаться?
 4. В чем недостаток параллельной работы генераторов по методу статических характеристик?
- Литература [1].

Тема 6. Система переменного тока на воздушных судах

Источники и преобразователи электрической энергии переменного тока. Трансформаторы. Авиационные генераторы переменного тока, принцип действия, электрические схемы, типы, характеристики генераторов переменного тока. Регулирование напряжения генераторов переменного тока.

Методические указания.

При изучении данной темы необходимо обратить внимание на особенности устройства и работы генераторов переменного тока. Особое внимание следует уделить конструкции бесконтактных синхронных генераторов типа ГТ.

Необходимо изучить принцип действия, конструкции схемы замещения и основные режимы работы авиационных трансформаторов.

При изучении характеристик синхронных генераторов обратить внимание на взаимосвязь реакции якоря и характера нагрузки генератора.

Следует обратить внимание на особенности регулирования напряжения синхронных генераторов, изучить конструкцию и принцип действия регуляторов напряжения на тиристорах и транзисторах

Вопросы для самопроверки

1. Принцип действия генераторов переменного тока
2. При каком характере нагрузки у синхронного генератора будет наибольший ток возбуждения при неизменном напряжении?
3. Чем определяется частота тока синхронного генератора?
4. В чем достоинства и недостатки авиационных электромашинных преобразователей?
5. В каком случае требуется больший диапазон изменения тока возбуждения, когда регулируется напряжение генератора переменного тока стабильной частоты или генератора переменного тока нестабильной частоты?
6. В чем преимущества бесконтактных синхронных генераторов?

Литература [1, 2, 5].

Тема 7. Привод синхронных генераторов. Параллельная работа синхронных генераторов

Устройство и принципы действия авиационных приводов синхронных генераторов: гидромеханического, пневмомеханического. Механические характеристики приводов постоянной частоты вращения, их сравнительная оценка.

Регулирование частоты синхронных генераторов. Перспективные системы переменного тока без приводов постоянной скорости.

Условия подключения синхронных генераторов на параллельную работу, принцип распределения активной и реактивной мощностей между параллельно работающими генераторами. Защита энергоузлов переменного тока.

Методические указания

При сопоставлении различных приводов следует обратить внимание на преимущество дифференциальных приводов прямого потока энергии.

Надо уяснить понятие "жесткость механической характеристики" и выявить факторы, влияющие на жесткость.

Особое внимание следует уделить полупроводниковым системам переменного тока стабильной частоты (системы: переменная скорость, постоянная частота - системы ПСПЧ). Такие системы являются весьма перспективными, так как позволяют исключить недостатки механических приводов.

Рассматривая параллельную работу, следует усвоить, что изменение активной мощности машины может быть достигнуто только изменением величины вращающего момента (ускорением ротора), а регулированием тока возбуждения можно изменить только реактивную мощность. Необходимо изучить условия включения генераторов на параллельную работу и методы синхронизации, обратив внимание на особенности параллельной работы авиационных машин и трудности ее осуществления. Следует иметь в виду, что методы автоматического распределения нагрузок между генераторами являются общими как для генераторов постоянного, так и для генераторов переменного тока.

При изучении защиты энергоузлов переменного тока следует иметь в виду, что эти защиты строятся по принципам, аналогичным для систем постоянного тока, однако, количество функций, выполняемых защитой, существенно увеличивается.

Следует иметь в виду, что современные системы электроснабжения имеют интегрированные системы управления И ЗАЩИТЫ, поскольку защита есть управление в аварийных режимах. Необходимо изучить функции и устройство блоков БРЗУ самолетов нового поколения.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается дифференциальный привод от привода с полным преобразованием энергии?
2. В чем заключается преимущество систем ПСИЧ (переменная скорость, постоянная частота) ?
3. Каковы условия включения синхронного генератора на параллельную работу ?
4. Как нагрузить синхронный генератор, работающий параллельно с сетью:
 - а) активной мощностью;
 - б) реактивной мощностью.
5. Зачем нужна выдержка времени в защитах от перенапряжений?
6. Как осуществляется защита синхронного генератора от внутренних коротких замыканий ?
7. Какие функции выполняет блок БРЗУ 115.

Литература [1,5].

Тема 8. Система передачи и распределения электрической энергии на воздушных судах

Назначение и классификация электрических сетей. Защита электрических сетей, выбор аппаратуры защиты. Общие сведения о расчете электрических сетей. Коммутационная аппаратура.

Методические указания

При изучении электрических сетей необходимо обращать внимание на признаки, по которым приводится их классификация. При изучении авиационных проводов следует особое внимание обратить на их конструктивные особенности, позволяющие использовать эти провода при широком диапазоне изменения параметров окружающей среды, механических нагрузках. Следует четко представлять, что расчет электрической сети должен выполняться с учетом требований, диктуемых стремлением получить наилучшие характеристики летательного аппарата в целом, и ограничений, накладываемых требованиями термостойкости, механической прочности и высокого качества электрической энергии.

Необходимо изучить методы защиты сети воздушного судна от перегрузки и короткого замыкания, разобрать достоинства и недостатки самолетных предохранителей: плавких, инерционно-плавких и тугоплавких, рассмотреть автоматы защиты сети типа АЗР, АЗС, АЗК, АЗФ.

Вопросы для самопроверки

1. В чем достоинства и недостатки магистральных и радиальных сетей?
2. Почему провода меньшего сечения допускают большую плотность тока?
3. Преимущества и недостатки различных методов защиты сети?
4. В чем разница между автоматами защиты типа АЗР, АЗС, АЗФ, АЗФК? Литература [1].

Тема 9. Основные свойства электродвигателей воздушных судов

Электродвигатель параллельного и независимого возбуждения. Электродвигатель последовательного и смешанного возбуждения. Скоростные и механические характеристики двигателей. Область применения электродвигателей постоянного тока с различным типом возбуждения. Асинхронные двигатели.

Методические указания

Электродвигатели постоянного тока как по своей конструкции, так и по тем процессам, которые в них протекают, во многом аналогичны генераторам постоянного тока.

Следует изучить способы пуска двигателей и основные уравнения, по которым определяются рабочие, пусковые и регулировочные характеристики, влияние способа возбуждения на механические характеристики.

Обратить внимание на особенности конструктивного выполнения авиационных электрических машин постоянного тока, их системы охлаждения, разобраться в определении потерь и КПД.

При изучении асинхронных машин прежде всего необходимо разобраться с условиями образования вращающегося магнитного поля.

Необходимо изучить схему замещения асинхронной машины. При этом следует иметь в виду, что процессы, происходящие в асинхронном двигателе и трансформаторе во многом подобны.

Изучить механическую характеристику асинхронного двигателя, влияние сопротивления роторной цепи на механическую характеристику и пусковой момент, способы управления частотой вращения асинхронного двигателя.

Вопросы для самопроверки

1. Почему с увеличением частоты вращения двигателя уменьшается его ток? (при постоянном напряжении питания)
2. Каковы различия в уравнениях баланса напряжений и моментов в генераторном и двигательном режимах работы машины постоянного тока?
3. В чем заключаются конструктивные особенности авиационных электродвигателей.
4. Каким образом можно увеличить частоту вращения двигателя с параллельным возбуждением?
5. Почему недопустимо подключать двигатель последовательного возбуждения к сети без нагрузки на валу?
6. Как осуществляется пуск электродвигателя большой мощности?
7. Какой тип двигателя обладает "мягкой" механической характеристикой?
8. В каком случае поле двухфазной обмотки будет эллиптическим?
9. Как увеличить пусковой момент асинхронного двигателя? Литература [1,5,6].

Тема 10. Основы теории электропривода агрегатов и механизмов воздушных судов

Общая характеристика авиационного электропривода, особенности, типовые электромеханизмы. Уравнение движения электропривода. Управление электроприводами постоянного и переменного тока. Импульсное управление электродвигателями. Основные сведения о следящем электроприводе.

Методические указания

Необходимо уяснить достоинства и недостатки электрического привода, изучить структурную схему электропривода.

При изучении управления электродвигателями постоянного тока особое внимание следует уделить изменению механических характеристик электродвигателей и их энергетических показателей при введении добавочных сопротивлений в цепи якоря и обмотки возбуждения, а также при изменении напряжения питания.

Необходимо разобраться в особенностях частотного управления Ш микроными двигателями.

Вопросы для самопроверки

1. В чем преимущества электропривода по сравнению с другими приводами?
 2. Каковы области применения двигателей последовательного, параллельного и смешанного возбуждения?
 3. Каковы достоинства и недостатки асинхронного электропривода?
 4. В чем суть импульсного управления электродвигателя?
 5. Какие типы редукторов и муфт применяются в авиационном электроприводе?
 6. Какие основные требования к следящему электроприводе?
- Литература [6].

Тема 11. Электрифицированные системы управления агрегатами и устройствами воздушных судов

Системы электропривода органов управления, стабилизатора, взлетно-посадочных устройств и механизации крыла. Основные принципы построения систем запуска авиадвигателей. Системы управления приводами РЛС.

Противообледенительные и противопожарные системы.

Светотехническое оборудование на воздушных судах. Назначение, классификация светотехнического оборудования. Краткие характеристики. Основные светотехнические единицы.

Методические указания

1. При изучение электропривода органов управления стабилизатора и других систем целесообразно воспользоваться соответствующими техническими описаниями.

При изучении систем запуска авиадвигателей необходимо уяснить диаграмму изменения моментов в процессе запуска. Сопоставить электрические и воздушные системы запуска, особенности работы системы электрического зажигания.

Необходимо изучить состав противообледенительной системы воздушного судна, принципы действия сигнализаторов обледенения и способы удаления льда с поверхности воздушного судна. Особое внимание следует уделить способу скалывания льда с помощью электромагнитного поля.

Вопросы для самопроверки I. Каким образом повышается надежность авиационного электропривода?

2. Каковы особенности электропривода подъемно-транспортного устройства?

3. Сколько этапов имеет процесс запуска газотурбинного двигателя?

4. Какие требования предъявляются к системам запуска?

5. Какие виды автоматов для запуска электродвигателей вы знаете?

6. С помощью каких огней осуществляется наружная световая сигнализация?

Литература [6].

ЧАСТЬ 2. Приборное оборудование

Тема 1. Общая характеристика приборного оборудования

Параметры навигации и пилотирования. Классификация пилотажно-навигационных приборов и систем управления. Общие требования к пилотажно-навигационным приборам и системам управления.

Методические указания

Необходимо ознакомиться с назначением пилотажно-навигационных приборов и систем управления, выявить их роль в управлении полетом воздушного судна как перемещение твердого тела в пространстве заданных координат. Классифицировать приборы и системы по принципу действия. Выявить факторы Среды, влияющие на работу авиационных приборов и систем. Определить общие требования к ним.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислить параметры, характеризующие положение воздушного судна в пространстве заданных координат.

2. Классифицировать приборное оборудование по назначению.

3. Перечислить внешние факторы, влияющие на работу приборного оборудования.

4. Основные требования к приборному оборудованию воздушного судна.

Литература [7, 10].

Тема 2. Мембранно-анероидные приборы

Виды высот и методы их измерения. Высотомеры (механические, электромеханические). Методические и инструментальные погрешности высотомеров. Корректор-задатчик высоты типа КЗВ. Виды скоростей полета и методы их измерения. Измерители скоростей полета. Вариометры, корректоры скорости.

Измерители углов атаки и скольжения. Их погрешности, возможные неисправности, основные принципы эксплуатации. Комплексное представление высотно-скоростных параметров. Системы воздушных сигналов, их особенности и преимущества перед отдельными измерителями.

Методические указания

Изучая высотомер, необходимо ознакомиться со строением земной атмосферы и ее параметрами. Далее следует изучить барометрическую и гипсометрическую зависимости между высотой и атмосферным давлением, по которым строятся высотомеры. Следует четко представлять, какие элементы механических и электромеханических высотомеров реализуют эти зависимости. Особое внимание следует уделить

методическим и инструментальным погрешностям, а также методам борьбы с ними в различных приборах. Затем рассмотреть основные методы эксплуатации высотомеров. По такой же схеме следует изучать все приборы мембранно-анероидной группы. В заключение требуется пояснить необходимость информационных комплексных измерителей высотно-скоростных параметров. Следует проанализировать работу функциональной схемы систем воздушных сигналов и уяснить преимущества, которыми обладают комплексные измерители.

Вопросы для самопроверки

1. Виды высот, методы измерения высот.
2. Понятие об эшелонировании полетов воздушных судов.
3. Параметры стандартной атмосферы. Различие между барометрической и гипсометрической формулами.
4. Схема механического высотомера типа ВД.
5. Принцип работы и схема электромеханического высотомера.
6. Корректор-задатчик высоты типа КЗВ. Функциональная схема и описание ее работы.
7. Виды скоростей, методы их измерения.
8. Основные зависимости, по которым строятся приборы измерения скоростей.
9. Принцип действия и конструктивные особенности комбинированных указателей скорости.
10. Особенности измерителя числа М.
11. Принцип действия и устройство вариометра.
12. Основные функциональные зависимости для построения системы воздушных сигналов.
13. Функциональная схема системы воздушных сигналов.
14. Описать работу датчиков углов атаки и скольжения.
15. Основные принципы эксплуатации мембранно-анероидных приборов. Литература [7, 10].

Тема 3. Гироскопические приборы

Физические основы гироскопических явлений. Гироскопический эффект. Гироскопический момент. Основные свойства гироскопов и особенности их технической реализации. Трех и двухстепенные гироскопы. Нутация. Приборы и датчики углов крена и тангажа. Авиагоризонты и гировертикали.

Методические указания

Необходимо изучить поведение свободного гироскопа и его свойства. Рассмотреть конструкцию и особенности работы приборов, созданных на основе двухстепенного гироскопа. Изучить принцип действия гировертикали и виды коррекций. Знать назначение жидкостного маятника. Иметь представление о силовой гироскопической стабилизации и ее применении в гировертикалях. Изучить гировертикаль типа ЦВГ или МГВ.

Вопросы для самопроверки

1. Изобразить гироскоп в кардановом подвесе и определить его поведение под действием постоянных и импульсных сил.
 2. Напишите формулы для определения.
 3. Определить основные свойства двухстепенного гироскопа.
 4. Принцип работы и особенности датчика угловых скоростей.
 5. Анализ работы систем коррекции авиагоризонтов и их электрические схемы.
 6. Рассмотреть принцип действия авиагоризонта АГД-1 на базе его электромеханической схемы.
- Литература [7, 8, 10].

Тема 4. Курсовые приборы и системы

Определение курса. Виды курсов. Методы определения курсов. Магнитный компас. Индукционный датчик (зонд). Принцип действия индукционного датчика. Гирополукомпас. Азимутальные и горизонтальные коррекции. Курсовые системы на примере КС-6.

Методические указания При изучении курсов воздушного судна необходимо уяснить линии отсчетов, применяемые в авиации, обратить внимание на углы магнитного склонения, азимутальной поправки и условного магнитного склонения.

При изучении принципа действия "Зонда" необходимо понять, что назначение питающей обмотки - изменять магнитную проницаемость пермаллоевых сердечников.

При изучении гирополукомпыаса необходимо понять физическую сущность инерциальной навигации, разобраться в алгоритмах и аналитических выражениях, реализуемых в системе. При рассмотрении акселерометров нужно обратить внимание на его конструкцию, знать, как получается метациентр, какие функции выполняют датчик угла и датчик момента.

Вопросы для самопроверки

1. Основные параметры частотно-ортодромической системы координат.
 2. Постройте навигационный треугольник скоростей.
 3. Нарисуйте блок-схему аэрометрической системы счисления пути.
 4. Нарисуйте блок-схему доплеровской системы счисления пути.
 5. Приведите алгоритмы, реализуемые в инерциальной системе.
 6. Начертите графики пути, скорости и ускорения инерциальной системы.
 7. Изобразите маятник Шулера и схему его технической реализации.
 8. Что такое маятниковость акселерометра?
 9. Основные технические параметры акселерометра.
 10. Перечислите достоинства и недостатки аэрометрических и инерциальных систем навигации.
- Литература [7, 8, 10, 11].

Тема 6. Автопилоты. АБСУ, БПНК

Блок-схема автопилота. Сервоприводы. Триммерное устройство. Законы управления. Автоматические бортовые системы управления, назначение, решаемые задачи, блок-схема на примере АБСУ-154. Безопасность полетов, реализуемая в АБСУ. Бортовые пилотажно-навигационные комплексы.

Методические указания

Изучая автопилоты, необходимо обратить внимание на виды и техническую реализацию обратных связей. Надо понимать, что в различных каналах одного и того же автопилота могут применяться различные виды обратных связей. Уяснить назначение передаточных чисел и уметь написать один из законов управления. При изучении АБСУ необходимо знать назначение всех подсистем и связь САУ с датчиками информации. Понять необходимость перехода от АБСУ к бортовым пилотажно-навигационным комплексам БПНК. Уметь объяснить достоинства цифровых и аналогово-цифровых БПНК.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется сервоприводом?
 2. Что называется датчиком скоростной, жесткой и изотропной обратных связей?
 3. Для чего нужно триммерное устройство, как оно работает?
 4. Напишите закон стабилизации высоты.
 5. Напишите закон управления углом тангажа.
 6. Нарисуйте блок-схему связей САУ-4 с датчиком информации.
 7. Приведите блок-схему цифрового БПНК.
 8. Почему иногда применяют аналогово-цифровые БПНК?
 9. Перечислите причины перехода от АБСУ к БПНК.
- Литература [8, 7, 10].

Тема 7. Базовый комплекс стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования БКСЦПНО

Назначение и решаемые задачи. Структурная схема БКСЦПНО, состав, назначение подсистем и пультов управления. Функции вычислительных систем ВСС, ВСУП, ВСУП, ВСУТ, СЭИ, СПКР, СППЗ. Принцип темной кабины. Цветовое кодирование.

Методические указания

При изучении БКСЦПНО обратить внимание на трехуровневый принцип построения средств контроля. Понять преимущества цифровых комплексов перед аналоговыми. Знать задачи, решаемые БКСЦПНО. Обратить внимание на то, что часть вычислительных систем кроме "своих" задач решает задачи смежных систем.

Внимательно изучить цветовое кодирование, знать и уметь объяснить принцип "темной кабины".

Вопросы для самопроверки

1. Сколько маршрутов можно записать в БКСЦПО?
 2. Сколько отказов может хранить система сбора и локализации отказов?
 3. Сколько инерциальных систем в БКСЦПО?
 4. Какие функции решает ВСС?
 5. Что означает голубой цвет на индикаторах?
 6. Сколько секунд отводится на парирование отказа при желтом цвете сигнала?
 7. Есть ли центральная гировертикаль в БКСЦПО?
 8. Сможет ли осуществить посадку Ил-96-300 при полном отказе БКСЦПО?
 9. Одинаков ли объем задач, решаемых БКСЦПО и ПНК БОИНГ 767?
 10. Может ли техник блок одной системы БКСЦПО вставить в другую?
- Литература [9].

Тема 8. Навигационное обеспечение БКСЦПО

Навигация в безориентированных пространствах. Дальномерные навигационные системы. Навигационные системы. Навигация по ВОР, ДМЕ "ОМЕГА", "ЛОРАН". Спутниковая навигация. Система "NAVSTAR", принцип действия, основные характеристики, перспектива применения.

Методические указания

Необходимо познакомиться с существующим уровнем навигационного обеспечения. Знать параметры современных трасс. Разобраться как осуществляется навигация в Северной Атлантике (по трекам). Понять принцип навигации по системам "ОМЕГА" и "ЛОРАН". Уяснить почему целесообразен переход на спутниковую навигацию и микроволновую систему посадки.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое трек?
 2. Где расположены станции системы "ОМЕГА"?
 3. Сколько радиомаяков ВОР в Западной Европе?
 4. Возможна ли совместная работа системы "ОМЕГА" и РСДН-85?
 5. Когда будет осуществлен переход на МСП?
 6. В чем преимущества спутниковой навигации?
 7. Сколько спутников в системе NAVSTAR?
 8. Какова точность определения координат места нахождения объекта системой NAVSTAR?
- Литература [9].

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Контрольное задание включает две задачи и два контрольных вопроса. Номер варианта студент устанавливает по шифру зачетной книжки. Последняя цифра указывает номер варианта, номера контрольных вопросов приведены в табл.4.

Задача № 1

1. Определить графоаналитическим методом ток возбуждения и сопротивление в цепи обмотки возбуждения генератора параллельного возбуждения для режима холостого хода при $U=U_H$ для n_{max} и для n_{min} .
2. Построить внешнюю и регулировочные характеристики генератора при n_{min} графоаналитическим методом, используя характеристику холостого хода, луч сопротивления обмотки возбуждения и характеристический треугольник.

Таблица 1

Параметры	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Номинальное напряжение U_n (В)	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
2. Номинальный ток нагрузки I_n (А)	100	100	200	200	300	300	400	400	600	600
3. Частота вращения (об/мин)	4000-9000	4000-8000	3800-5900	4000-6000	4000-9000	3800-5900	3800-5900	4000-9000	3800-8000	4000-9000
4. Сопротивление обмотки якоря при 293 °К (Ом)	0,024	0,024	0,015	0,01	0,006	0,007	0,004	0,005	0,002	0,002
5. Сопротивление обмотки возбуждения при 293 °К (Ом)	2,2	2,2	2,2	2,0	2,1	2,2	2,5	2,4	1,2	1,2

- Объяснить причины изменения напряжения генератора.
- Построить скоростную характеристику $n=f(I_a)$ при работе машины в двигательном режиме.
- Объяснить причины изменения частоты вращения электрической машины в двигательном режиме при изменении: а) момента нагрузки; б) сопротивления в цепи возбуждения.

Исходные данные приведены в табл.1. Принять рабочую температуру обмоток машины (Траб.) равной 393°К. Для построения характеристики холостого хода использовать данные табл.2 в относительных единицах (о.е.), соответствующих начальной (минимальной) скорости вращения.

В табл.2: $I_{в0}$ - ток возбуждения, при котором ЭДС холостого хода (E_0) равна U_n и частота вращения $n=n_{min}$. Пересчет характеристик холостого хода для верхнего предела частоты вращения ($n=n_{max}$) осуществить, используя соотношение:

$$E_{n_{max}} = E_{n_{min}} (n_{max} / n_{min}),$$

где $E_{n_{min}}$ - значение ЭДС по характеристике холостого хода при n_{min} (по табл.2), пересчитанное в вольты.

Для определения токов возбуждения в амперах воспользоваться $i = 001$ ношением:

$$4I_{в0}R_{в(393\text{°K})} = 1,5U_n,$$

Таблица 2

$I_{в'} = I_{в'} / I_{в0}$	0	0,5	0,75	1,0	1,3	1,5	1,5	2	2,5	3	4
$E' = E_0 / U_n$	0,075	0,57	0,83	1,0	1,15	1,2	1,25	1,3	1,37	1,44	1,5

где $R_{в(393\text{°K})}$ - сопротивление обмотки возбуждения, приведенное к рабочей температуре.

$I_{в'}$, E' - соответственно ток возбуждения ЭДС в относительных единицах при $n = n_{min}$. Вольт-амперная характеристика (луч сопротивления) цепи возбуждения для частоты вращения $n = n_{min}$ изображается прямой, проходящей через начало координат и образующей с положительным направлением оси абсцисс угол, определяемый сопротивлением обмотки возбуждения приведенным к рабочей температуре ($R_{в(393\text{°K})}$) и добавочным сопротивлением ($R_{вдоб}$):

$$\alpha = \arctg(R_{в(393\text{°K})} + R_{вдоб}) (m_i / m_u),$$

где m_u и m_i - масштабы соответственно напряжения и тока.

Полное сопротивление цепи возбуждения, а затем и величина добавочного сопротивления в цепи обмотки возбуждения находится по заданному напряжению генератора U_n и току возбуждения, определяемому из графика по характеристике холостого хода и вольт-амперной характеристике цепи возбуждения для соответствующего режима работы.

Для построения внешней и регулировочной характеристик использовать построенные характеристики холостого хода, вольт-амперную характеристику цепи возбуждения и характеристический треугольник. Методика построения характеристического треугольника и характеристик подробно изложены в [2]. Принять падение напряжения в щеточных контактах при номинальном режиме $AU_m = 2B$.

Ток короткого замыкания определить из величины остаточной ЭДС и сопротивления цепи якоря, включая сопротивление щеточных контактов.

При переводе электрической машины в двигательный режим принять напряжение питания $U_n=24В$.

В начале определить ЭДС якоря (E) при различных значениях тока нагрузки

$$E=U_n - I_a R_a - \Delta U_{щ}$$

По характеристике холостого хода для $n=n_{min}$ и характеристическому треугольнику определить реакцию якоря в масштабе тока возбуждения ($I_{вян}$) при номинальном токе нагрузки. Затем, полагая, что реакция якоря пропорциональна току якоря, определить часть тока возбуждения ($I_{в}$), создающего действительный магнитный поток в воздушном зазоре при различных значениях тока якоря

$$I_{в}' = I_{в} - I_{вян}(I_a / I_{ан}), \text{ где } I_{в} - \text{ток возбуждения,}$$

$$I_{в} = U_n / R_{в} (393(K));$$

I_a - ток якоря;

$I_{ан}$ - номинальный ток якоря. По характеристике холостого хода определить ЭДС (E), создаваемую током I в. Частоту вращения, соответствующую значению ЭДС якоря E , определить из соотношения: $n=n_{min}(E/E')$.

Задача № 2

1. Рассчитать параметры и построить схемы замещения и векторные диаграммы приведенного трансформатора для режимов холостого хода, короткого замыкания и номинальной нагрузки.

2. Определить изменение напряжения и построить зависимости процентного изменения напряжения от нагрузки $\Delta U_n = f(K_n)$ при

$\cos \varphi_2 = 0,8(\varphi_2 < 0, \varphi_2 > 0)$ и $\cos \varphi_2 = 1$ и кривую процентного изменения напряжения от коэффициента мощности $\Delta U_n = f(\cos \varphi_2)$ при номинальном токе.

3. Определить КПД при номинальной нагрузке и построить зависимость при $\eta = f(K_n)$ $\cos \varphi_2 = 0,8(\varphi_2 > 0)$, $\cos \varphi_2 = 1$

Таблица 3

Параметры трансформатора	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Номинальная мощность (ВА)	50	75	120	500	2000	150	250	1200	1500	1600
2. Частота (Гц)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
3. Число фаз	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
4. Номинальное высшее линейное напряжение (В)	120	115	300	200	208	200	200	200	200	200
5. Номинальное низшее линейное напряжение (В)	28	6,3	115	28	115	36	36	36	36	36
6. Напряжение короткого замыкания U_k %	9,5	8,5	8	7	6,5	6,5	6,75	4,5	3,25	3,4
7. Ток холостого хода I_0 %	16	8	5,5	5	4	12	5	9,5	3	4,2
8. Потери короткого замыкания $P_{кз}$ (Вт)	3,2	3,9	6	23,8	87	8,3	11	32	35	37
9. Потери холостого хода P_0 (Вт)	3	3,4	5	16	63	7,5	5	21	45	42

Методические Указания

Исходные данные приведены в табл.3. Для всех вариантов принять группу соединения обмоток Y/Y - 0. Методика выполнения всех расчетов подробно итожена в [5] .

Перечень контрольных вопросов

1. Виды высот. Барометрический высотомер типа ВД. Принципиальная схема, ее описание, основные погрешности. Особенности эксплуатации.
2. Комбинированный указатель скорости типа КУС. Кинематическая схема. Особенности ее работы.
3. Указатель числа М. Назначение, описание работы. Погрешности.
4. Вариометр типа ВАР. Принципиальная схема, особенности работы, основные погрешности.
5. Датчики углов атаки и скольжения. Назначение, принцип действия. Схема.
6. Трехстепенной гироскоп. Кинематическая схема. Основные свойства. Аналитические выражения для определения H , ω_{np} , Мг
7. Выключатель коррекции ВК-53. Назначение, электро-кинематическая схема, принцип действия.
8. Авиагоризонт типа АГД. Назначение, кинематическая схема, принцип действия.
9. Гирополукомпас типа ГПК-52. Назначение, принцип действия, кинематическая схема. Азимутальная и горизонтальная коррекции в ГПК.
10. Виды курсов. Методы определения курсов. Магнитный компас КИ-13. Назначение, принцип действия, основные погрешности.
11. Индукционный датчик курса типа ИД, принцип его действия. Детальное описание работы "Зонда".
12. Аэрометрическая и доплеровская системы счисления пути. Функциональные схемы, принцип действия. Функциональные зависимости, реализуемые в этих системах.
13. Акселерометр. Назначение, кинематическая схема. Принцип действия.
14. Инерциальная навигационная система. Алгоритмы и аналитические зависимости, реализуемые в инерциальных системах. Блок-схема, принцип действия. Погрешности инерциальных систем.
15. Автопилот. Назначение и решаемые задачи. Блок-схема автопилота.
16. Автоматические бортовые системы управления полетом. Назначение и решаемые задачи. Блок-схема АБСУ.
17. Бортовые пилотажно-навигационные комплексы. Блок-схемы цифровых и аналогово-цифровых БПНК. Назначение и решаемые задачи.
18. Базовый комплекс стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования БКСЦПНО. Структурная схема. Принцип построения.
19. Эксплуатация БКСЦПНО.
20. Навигационное обеспечение БКСЦПНО. Преимущества микроволновой системы посадки. Спутниковая навигация.

Таблица 4

	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номера вопросов	10,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	2,	1,
	18	20	17	16	15	14	13	12	11	19