

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)»**

Кафедра электротехники и авиационного электрооборудования

А.А. Савелов, Ю.С. Соловьев

ЭЛЕКТРО И ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

**Учебно-методическое пособие
по изучению дисциплины
и контрольные задания**

*для студентов V курса
специальности 25.05.03
заочной формы обучения*

Москва
2019

ББК 0571-521
С-12

Рецензент:

Решетов С.А. – д-р техн. наук, профессор

Савелов А.А.

С-12 Электро и приборное оборудование воздушных судов: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины и контрольные задания./ А.А. Савелов, Ю.С. Соловьев. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – 36 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электро и приборное оборудование воздушных судов» по учебному плану для студентов V курса специальности 25.05.03 заочной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 22.01.2019 г. и методического совета 05.02.2019 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 12.03.2019 г.
Формат 60x84/16 Печ.л. 3 Усл. печ. л.
3,49 Заказ 427/090426 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Отпечатано ООО «МИР»
394033, г. Воронеж, Ленинский пр-т 119А, лит. Я, оф. 215

© Московский государственный
технический университет ГА, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Электро и приборное оборудование» читается двумя кафедрами: «Технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» и «Электротехники и авиационного электрооборудования». Данное пособие содержит материал, читаемый обеими кафедрами.

Настоящие методические указания содержат перечень целей и задач дисциплины, последовательность изучения, а также основные требования к контрольной работе, выполняемой студентами.

Для облегчения изучения дисциплины материал разбит на 2 раздела:

- Электрооборудование
- Приборное оборудование.

Разделы содержат несколько тем, каждая из которых состоит из методических указаний по изучению и контрольных вопросов для самопроверки.

В процессе изучения материала для его закрепления выполняется контрольная работа. Контрольная работа пишется чернилами или пастой, допускается печатный текст с оставлением полей для замечаний. Все выполняемые чертежи и схемы должны соответствовать ГОСТам и ЕСКД.

Общий объем контрольной работы не должен превышать 15-20 стр. печатного текста шрифтом 12 или 14.

В процессе проведения лекционно-лабораторной сессии студенты выполняют лабораторные работы, по которым необходимо получить зачет.

ВНИМАНИЕ! К экзамену допускаются студенты, имеющие зачет по лабораторным работам и защитившие прорецензированные контрольные работы.

1. Учебный план дисциплины

Дисциплина «Электро и приборное оборудование» изучается студентами заочного факультета на пятом курсе. Согласно учебному плану общий объём часов на дисциплину – 144, из них:

- лекции - 8 часов;
- лабораторные занятия - 12 часов,
- самостоятельная работа - 124 часа.

Кроме этого, студенты выполняют контрольную работу на пятом курсе и сдают экзамен. Основной упор при заочном обучении, естественно, сделан на самостоятельную работу студентов с литературой, приведённой в третьем разделе данного пособия. В последние годы с учётом новых интернет - технологий у студентов заочного обучения появились возможности консультаций через электронный адрес кафедры, который приведён в четвёртом разделе данного пособия.

2. Основные сведения о дисциплине

2.1. Дисциплина «Электро и приборное оборудование» является специальной дисциплиной в системе подготовки специалиста по направлению подготовки 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». Знания и навыки, полученные при изучении данной дисциплины, помогут будущему специалисту грамотно эксплуатировать авиационную технику.

2.2. Цель преподавания дисциплины

Целью освоения дисциплины является приобретение студентами знаний по теории электро и приборного оборудования, применяемого на летательных аппаратах: принципам действия, основным эксплуатационным характеристикам приборного оборудования; составу и принципам построения приборного оборудования, а также систем, базирующихся на этих приборах. Привить навыки использования измерительных и контрольных приборов, применяемых в процессе технической эксплуатации авиационного оборудования.

Задачи изучения дисциплины. Приобретение профессиональных компетенций:

ПСК-1. Способность к обеспечению исправности, работоспособности и готовности авиационного радиоэлектронного оборудования, его силовых и энергетических систем к использованию по назначению с наименьшими эксплуатационными затратами.

В результате изучения дисциплины «Электро и приборное оборудование воздушных судов» обучающийся должен:

Знать:

ПСК-1.1.1.23 - физические основы работы, назначение, принципы действия, устройство, основные конструктивные и схемные особенности электро и приборного оборудования воздушных судов гражданской авиации,

ПСК-1.2.1.19 - методы технической эксплуатации электро и приборного оборудования воздушных судов гражданской авиации,

уметь:

ПСК-1.1.2.13 - анализировать и оценивать работу отдельных устройств электро и приборного оборудования, используя для этого структурные, принципиальные и функциональные схемы эксплуатируемых систем; проводить техническое обслуживание электро и приборного оборудования с помощью контрольно-проверочной аппаратуры,

ПСК-1.2.2.9 - осуществлять поиск и устранение сбоев и отказов в электро и приборном оборудовании,

владеть:

ПСК-1.1.3.9 - навыками работы с бортовыми и наземными средствами контроля технического состояния электро и приборного оборудования,

ПСК-1.2.3.4 - навыками монтажа и демонтажа электро и приборного оборудования

3. Рекомендуемая литература

3.1. Основная литература

1. Системы электроснабжения воздушных судов/ под ред. Халютин С.П.-М.: ВУНЦ ВВС, 2010.
2. Синдеев И. М. Савелов А. А. Системы электроснабжения воздушных судов. М.: Транспорт,1990г.
3. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы. – СПб.: Питер, 2008
4. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Машины переменного тока. - СПб.: Питер, 2008
5. Электрооборудование воздушных судов. / Под ред. С. А. Решетова. - М.: Транспорт, 1991.
6. Савелов А. А. Электро и приборное оборудование воздушных судов. Пособие по выполнению лабораторных работ. М.: РИО МГТУ ГА, 2015.
7. Зыль В. П. Электро и приборное оборудование воздушных судов. Пособие по выполнению лабораторных работ. - М: МГТУ ГА, 2013.
8. Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы: Учебник для вузов / Под ред. В. Г. Воробьева. М.: Транспорт, 1992.
9. В. Г. Воробьев, В. П. Зыль, С. В. Кузнецов. Комплексы цифрового пилотажно-навигационного оборудования, часть 1, М.: РИО МГТУ ГА, 1998.
10. В. Г. Воробьев, В. П. Зыль, С. В. Кузнецов. Комплексы цифрового пилотажно-навигационного оборудования, часть 2, М.: РИО МГТУ ГА, 1998
11. Козарук В. В. Навигационно-пилотажный комплекс самолета Ту-154 и его эксплуатация. М.: Машиностроение, 1993

3.2. Дополнительная литература

12. Воробьев В. Г., Зыль В. П., Кузнецов С. В. Основы теории технической эксплуатации пилотажно-навигационного оборудования. – М: Транспорт, 1999.
13. ГОСТ Р 54073-2017 - Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии

14. Савелов А. А. Системы электроснабжения воздушных судов. Пособие по выполнению лабораторных работ: РИО МГТУ ГА, 2017
15. Савелов А. А. Электрифицированные комплексы воздушных судов. Пособие по выполнению лабораторных работ. М.: РИО МГТУ ГА, 2017.
16. Электрооборудование летательных аппаратов в 2-х т. Т.1 Системы электроснабжения летательных аппаратов / под ред. С. А. Грузкова. - Москва: Изд-во МЭИ, 2005.

4. Электронные средства информации

- Электронный тренажер ПНО-154;
 - Процедурный тренажер по самолету А330;
 - Процедурный тренажер по самолету В747.
- Электронные ресурсы библиотеки Университета - электронные версии пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы.

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

Сайты производителей элементов систем электроснабжения:

Главным производителем систем электроснабжения и различного электрооборудования для отечественных воздушных судов является Аэрэлектромаш (<http://aeroem.ru/>);

Сайты зарубежных производителей Фирма Hamilton Sundstrand (США) (<http://www.hamiltonsundstrand.com>) производит: генераторы, интегральные привод генераторы, стартер генераторы, статические преобразователи, системы управления распределением нагрузок, аварийные самолетные ветрогенераторы, аппаратуру управления и защиты. Фирма ECE концерна Zodiac (www.ece.zodiac.com) размещается в Париже и производит: коммутационную аппаратуру, системы распределения энергии, светосигнальное оборудование.

Программы моделирования электрических и электронных цепей: Electronics WorkBench, Multisim 2001.

5. Электронные адреса кафедр

TEAESPnk@mstuca.ru

ETIAEO@mstuca.aero.ru

При выполнении контрольной работы или при изучении дисциплины, если возникают проблемы, студент может связаться по данному адресу с преподавателем и получить необходимую консультацию.

6. Структура дисциплины

Учебная дисциплина «Электро и приборное оборудование воздушных судов» включает в себя два раздела и 12 тем. В каждой теме изучение материала рекомендуется по следующей схеме:

- назначение прибора, агрегата, системы;
- принцип действия;
- основные технические данные;

- устройство и принципиальная схема;
- основные особенности и вопросы эксплуатации.

Раздел 1. Электрооборудование

Данный раздел состоит из 7 тем:

- Тема 1. Электрические машины постоянного тока.
- Тема 2. Электрические машины переменного тока.
- Тема 3. Стабилизация частоты тока и напряжения синхронных генераторов.
- Тема 4. Управление каналами генерирования.
- Тема 5. Преобразователи рода тока.
- Тема 6. Защиты систем электроснабжения
- Тема 7. Химические источники электрической энергии.

Раздел 2. Приборное оборудование

Этот раздел состоит из 5 тем:

- Тема 1. Приборы и системы измерения высотно-скоростных параметров.
- Тема 2. Гироскопические приборы и системы.
- Тема 3. Навигационные системы.
- Тема 4. Аналоговые бортовые пилотажно-навигационные комплексы
- Тема 5. Комплексы цифрового пилотажно-навигационного оборудования.

7. Учебная программа дисциплины

Раздел 1. Электрооборудование

Тема 1 Электрические машины постоянного тока

Генераторы постоянного тока. Конструкция машин постоянного тока. Типы обмоток. ЭДС холостого хода, реакция якоря. Уравнение электрического равновесия. Характеристики генераторов постоянного тока. Условия самовозбуждения. Электромагнитный момент в машинах постоянного тока. Типы электродвигателей постоянного тока. Характеристики двигателей последовательного и параллельного возбуждения. Коэффициент полезного действия. Способы управления частотой вращения электродвигателей. Пуск и торможение электродвигателя. Литература: [3].

Методические указания

При изучении вводной части дисциплины необходимо ознакомиться с принципами действия электрических машин постоянного тока, особенностями конструкции авиационных машин. Необходимо усвоить процесс образования электродвижущей силы в обмотках якоря. Изучить основные типы обмоток якоря: волновые и петлевые.

Обратите внимание на обратимость электрических машин, возможность их работы в двигательном и генераторном режимах. Важную роль в понимании характеристик электрических машин играет реакция якоря и уравнение электрического равновесия. 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.

Следует уяснить, что области применения авиационного привода определяются характером механических характеристик двигателей. Важно так же разобраться со способами регулирования частоты вращения двигателей, их достоинствами и недостатками.

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. Нарисуйте механические характеристики двигателей последовательного и параллельного возбуждения.
7. Укажите способы регулирования частоты вращения двигателей.

Тема 2. Электрические машины переменного тока

Синхронные генераторы. ЭДС обмотки переменного тока. Устройство однофазных и трехфазных синхронных генераторов. Реакция якоря. Уравнение синхронного генератора, векторная диаграмма. Характеристики синхронных генераторов Условия включения генераторов на параллельную работу. Конструкция бесконтактного генератора.

Двигатели переменного тока. Магнитное поле одно, двух и трехфазной обмотки переменного тока. Принцип действия и конструкция трехфазного асинхронного двигателя. Уравнения асинхронного двигателя, схема замещения. Потери и КПД асинхронного двигателя, механическая характеристика. Регулирование частоты вращения двигателей переменного тока. Литература: [4].

Методические указания

Машины переменного тока получили преимущественное распространение на современных воздушных судах как в качестве генераторов, так и приводов. Необходимо уяснить построение однофазных и трехфазных генераторов и факторы, определяющие величину ЭДС. обмотки переменного тока. При изучении этого раздела следует обратить внимание на особенность реакции якоря синхронных машин – её зависимость от характера нагрузки. Сравните классическую синхронную машину и авиационный бесконтактный синхронный генератор серии ГТ.

Основой машин переменного тока является наличие кругового магнитного поля, обратите внимание на условия его формирования в однофазных и трехфазных машинах. Обратите внимание на особенности механической характеристики асинхронного двигателя и его схемы

замещения. При изучении способов регулирования частоты вращения следует учесть, что наиболее перспективным способом является частотное регулирование.

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 большой 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?
7. Укажите способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя.

Тема 3. Стабилизация частоты тока и напряжения синхронных генераторов

Типовые системы электроснабжения самолетов (СЭС) ВС. Стабилизация частоты тока синхронных генераторов. Привод синхронных генераторов. Пневмомеханический: устройство, уравнение механической характеристики. Гидромеханический: устройство, уравнение механической характеристики. Регулирование напряжения синхронных генераторов. Требования к точности поддержания напряжения. Измерительные органы регуляторов напряжения. Типы регуляторов напряжения. Литература: [1,2, 13].

Методические указания

При изучении этой части курса студент должен четко представлять, как сильно увеличилась значимость электрооборудования летательных аппаратов в течение последних десятилетий и насколько тесно связано электрооборудование с теми функциями, которые возлагаются на летательный аппарат в целом.

Необходимо усвоить, что для стабилизации частоты тока синхронных генераторов необходимо стабилизировать частоту вращения вала генератора независимо от режимов работы авиадвигателя. Это требование достигается путем вращения вала генератора от привода постоянной частоты вращения.

Надо уяснить понятие “жесткость механической характеристики” и выявить факторы, влияющие на жесткость. Ознакомиться с конструкцией пневмомеханических и гидромеханических приводов, уравнениями их механических характеристик. Ознакомиться с устройством интегральных приводов. Следует подробно разобраться в принципе действия и устройстве регулятора и корректора частоты.

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

При проработке вопросов стабилизации напряжения генераторов следует уделить внимание требованиям Гост 54073-2017 к параметрам качества электрической энергии. Необходимо изучить: измерительные органы с одним, двумя стабилитронами, работу принципиальных схем тиристорного и транзисторного регуляторов. Методы повышения устойчивости регулирования напряжения. Литература: [1, 2, 13].

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается дифференциальный привод от привода с полным преобразованием энергии?
2. Какие факторы определяют жесткость механической характеристики гидравлического и пневматического приводов?
3. В чем преимущества приводов интегрального исполнения.
4. Чем определяется статизм регулятора угловой скорости?
5. Чем вызвана необходимость в применении корректора частоты?
6. Почему наличие двух стабилитронов вместо одного позволяет увеличить чувствительность измерительного органа регулятора напряжения?
7. Как изменится скважность управляющих импульсов в транзисторном регуляторе при отключении нагрузки генератора?
8. Как изменится напряжение генератора при обрыве фазного провода питающего измерительный орган регулятора?
9. Как зависит устойчивость системы регулирования напряжения от частоты вращения генератора и его тока нагрузки?

Тема 4. Управление каналами генерирования

Автоматизация включения и отключения каналов генерирования постоянного тока. Устройство и работа ДМР, АЗУ. Управление ВУ. Управление каналами переменного тока, структурная схема, логические уравнения. Функции блоков БЗУ и БРЗУ. Управление подключением наземных источников. Блок БКНА. Литература: [1,2].

Методические указания

Основные вопросы темы: ДМР, АЗУ. Подключение РАП (ШРАП). Функции БКНА, БЗУВУ, БЗУ, БРЗУ, ЛЦУН.

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

Разобраться с системами управления нагрузками, с коммутационной и защитной аппаратурой сетей. Рассмотреть функции и устройства

локальных центров управления нагрузками (ЛЦУН). Изучить системы управления нагрузками современных самолетов на примере самолета SSJ100.

Необходимо разобраться с логическими уравнениями, описывающими работу блоков БЗУ, БРЗУ, БКНА. Проанализировать управление каналом генерирования, логические уравнения включения возбуждения и контактора нагрузки.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите функции ДМР.
2. Защищает ли дифференциально-минимальное реле типа ДМР генератора при перепутанной полярности аккумуляторной батареи?
3. Как маркируются авиационные реле?
4. Чем отличается поляризованное реле от обычного?
5. Для чего вспомогательный разъем РАП имеет укороченную длину?
6. В чем отличие обратимых и необратимых защит блоков БКНА, БЗУВУ, БЗУ, БРЗУ?
7. Опишите этапы подключения генератора к ЦРУ.
8. Для чего вводится задержка срабатывания в защитах от повышения (понижения) напряжения, частоты?
9. Перечислите виды защит блоков БКНА и БРЗУ.
10. Опишите алгоритм подключения контактора нагрузки БРЗУ.
11. Назовите функции ЛЦУН.

Тема 5. Преобразователи рода тока

Статические преобразователи постоянного тока в переменный. Инвертор: работа, улучшение формы кривой выходного напряжения. Регулирование напряжения в статических преобразователях. Трехфазные преобразователи. Импульсные встроенные источники питания. Статические преобразователи переменного тока нестабильной частоты в переменный ток стабильной частоты. Типы преобразователей. Способы искусственной коммутации тиристоров. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Преобразователи частоты циклоконверторного типа. Схемы, временные диаграммы, законы регулирования. Литература: [1,2].

Методические указания

Данная тема является одной из основных при изучении систем электроснабжения современных и перспективных воздушных судов и потому при изучении дисциплины ей необходимо уделить большое внимание.

При изучении выпрямительных устройств необходимо ознакомиться с характеристиками типовых схем выпрямления: однофазных, трехфазных, одно и двухполупериодных. Усвоить причины снижения напряжения выпрямителей под нагрузкой. При изучении статических преобразователей обратите внимание на методы формирования синусоидального напряжения. В разделе стабилизаторы вторичных источников наибольшее внимание уделите принципам работы импульсных стабилизаторов, как наиболее быстро развивающимся в последние годы.

Элементная база электронных преобразовательных устройств существенно изменилась, что привело к новым конструктивным решениям самих статических преобразователей. На новых зарубежных самолетах активно используются различные виды систем ПСПЧ.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем характеризуется значение пульсаций выпрямленного тока?
2. Каковы причины уменьшения напряжения на выходе трансформаторно-выпрямительного блока (ТВБ) при росте нагрузки?
3. Каково назначение уравнивающих реакторов в ТВБ?
4. Как можно стабилизировать напряжение в ТВБ?
5. Чем определяются потери в линейных стабилизаторах напряжения?
6. Чем определяются потери в импульсных стабилизаторах напряжения?
7. Для чего вводится «пауза на нуле» в силовых инверторах?
8. Каким образом можно управлять выходным напряжением конвертора?
9. Перечислите способы улучшения формы кривой инвертора.
10. В чем особенности трехфазных инверторов?
11. Назовите достоинства и недостатки преобразователей с промежуточным звеном постоянного тока.
12. Для чего вводится пауза между включением и выключением анодной и катодной групп тиристоров в преобразователях с непосредственной связью?

Тема 6. Защиты систем электроснабжения

Виды ненормальных режимов в системах электроснабжения. Ударные и установившиеся токи к.з. в системах постоянного тока и их расчет.

Требования, предъявляемые к защите. Виды защит. Защита от повышения и понижения напряжения. Структурная схема защит от повышения (понижения) напряжения, Логические уравнения защит и их дискриминаторов. Защита от повышения и понижения частоты. Структурная схема защиты, логические уравнения.

Защита электрических сетей и установок с помощью плавких предохранителей, типы и характеристики предохранителей. Автоматические выключатели: типы, устройство, характеристики. Дифференциальные защиты линий, генераторов. Литература: [1,2].

Методические указания

Первоначально следует ознакомиться с аварийными состояниями СЭС, признаками их вызывающие, а так же зависимостью этих состояний от режимов работы СЭС (частоты вращения генераторов, их нагрузки и др.)

При изучении защит систем электроснабжения необходимо обращать внимание на принципы функционирования защит, диагностические признаки, характеризующие аварийное состояние СЭС. Способы обеспечения селективности действия защит и повышения их быстродействия.

Ознакомиться с устройством аппаратуры максимально-токовых защит, с ампер-секундными характеристиками плавких предохранителей и тепловых автоматов защиты.

Разобраться, как формируются логические уравнения защит и их дискриминаторов. Изучить структурные схемы защит от повышения (понижения) напряжения и подобных защит по частоте.

Следует разобраться в работе дифференциальных защит трехфазного тока при различных видах короткого замыкания. Необходимо изучить схемы построения транзисторных ключей и функциональные возможности бесконтактных аппаратов защиты.

Вопросы для самоконтроля

1. Нарисуйте осциллограммы токов К.З. для различных частот вращения генератора.
2. Нарисуйте осциллограммы токов К.З. для различных сопротивлений К. З.
3. Нарисуйте осциллограммы токов К.З. для различных значений предварительной нагрузки генератора.
4. Перечислите возможные отказы, приводящие к повышению напряжения для систем с тиристорным и транзисторным РН.
5. Нарисуйте структурную схему защиты от повышения напряжения. Запишите алгоритмы работы защиты и дискриминатора.
6. Нарисуйте структурную схему защиты от понижения частоты. Запишите алгоритмы работы защиты и дискриминатора.
7. Нарисуйте в одних осях координат ампер-секундные характеристики инерционного предохранителя и предохранителя типа СП.
8. Укажите различие между автоматами типа АЗС и АЗР, АЗК-1 и АЗФ-1.
9. Дайте расшифровку обозначения реле ТКЕ52Д.
10. Для АЗС-5 коэффициент запаса $K=1.4$. Определите критический ток автомата.
11. Нарисуйте структурную схему БАЗК и укажите назначение ее узлов.

Тема 7. Химические источники электрической энергии

Основные характеристики химических источников тока. Назначение, электрохимические системы, электрические характеристики: ЭДС, напряжение, внутреннее сопротивление, емкость, саморазряд, удельные характеристики. Свинцовые аккумуляторные батареи: конструкция, характеристики. Никель-кадмиевые аккумуляторные батареи (АБ). Устройство, электрические характеристики. Тепловой разгон АБ. Литий ионные АБ. Бортовые устройства для заряда АБ. Эксплуатация аккумуляторных батарей. Литература [1,2].

Методические указания

При изучении химических источников электрической энергии необходимо уяснить особенности физических и химических процессов,

протекающих в аккумуляторных батареях (АБ), основные характеристики химических источников тока

Обратить особое внимание на зависимость емкости от величины разрядного тока, сравнительные характеристики кислотных и щелочных аккумуляторов и особенности их эксплуатации, методы контроля степени заряженности. Разобраться с условиями возникновения «теплого разгона АБ», правилами эксплуатации авиационных аккумуляторов.

Ознакомиться с типами, химическими процессами и особенностями заряда литиевых АБ. Познакомиться с перспективными химическими источниками – топливными элементами (ТЭ), их конструктивными исполнениями и химическими процессами.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные характеристики аккумуляторных батарей. Укажите, как влияет на них температура окружающей среды?
2. Что такое саморазряд аккумулятора и каковы причины его возникновения?
3. Что такое сульфатация пластин кислотных аккумуляторов, каковы причины ее возникновения и способы устранения?
4. Каковы преимущества и недостатки щелочных аккумуляторов по сравнению с кислотными?
5. Почему емкость кислотных аккумуляторов в большей степени зависит от разрядного тока, чем у щелочных?
6. Что такое «тепловой разгон» аккумуляторов?
7. Опишите алгоритм заряда литиевого аккумулятора.
8. Что такое балансировка литиевых аккумуляторов?
9. Назовите достоинства и недостатки ТЭ.

Раздел 2. Приборное оборудование

Тема 1. Приборы и системы измерения высотно-скоростных параметров

Системы питания аэрометрических приборов и систем. Приемники полного и статического давлений. Приемники температуры торможения. Виды высот полета. Системы вертикального эшелонирования. Гипсометрические формулы.

Изучение кинематических и электрических схем барометрических высотомеров. Механические, электромеханические и электронные барометрические высотомеры – ВД, ВМ, ВБМ-2, УВИД, ВЭМ-72, ВБЭ-2. Виды скоростей полета. Функциональные зависимости для приборной, истинной воздушной скорости и числа М. Комбинированные указатели скорости КУС и указатели числа М. Вариометры. Корректоры-здатчики высоты и скорости. Системы воздушных сигналов СВС-ПН, СВС-72, СВС-85, СВС-96. Литература [8, 11].

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.

Изучая барометрический высотомер, необходимо ознакомиться со строением земной атмосферы и понятием стандартной атмосферы СА-81. Далее следует изучить барометрическую и гипсометрическую зависимости между высотой и атмосферным (статическим) давлением, по которым рассчитываются шкалы барометрических высотомеров. Следует четко представлять, какие элементы механических и электромеханических барометрических 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 (указатели скорости и числа М, вариометры. В заключение требуется пояснить необходимость применения информационных комплексных измерителей высотно-скоростных параметров. Следует проанализировать работу функциональной схемы систем воздушных сигналов и уяснить преимущества, которыми обладают комплексные измерители.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислить параметры, характеризующие движение центра масс воздушного судна и движение вокруг центра масс, и измеряющие их приборы и системы.
2. Дать классификацию приборного оборудования по назначению.
3. Перечислить внешние факторы, влияющие на работу приборного оборудования.
4. Перечислить основные требования к приборному оборудованию воздушного судна.
5. В чем различия видов высот полета ВС и методов их измерения
6. Перечислить основные параметры стандартной атмосферы СА-81.
7. Дать определения константам и переменным, входящим в гипсометрическую формулу.
8. Сравнить зависимости, по которым вычисляются истинная воздушная скорость, приборная скорость и число М.
9. Основные функциональные зависимости для построения системы воздушных сигналов.
10. Уметь объяснить принцип действия механических, электромеханических и электронных приборов и систем измерения высотно-скоростных параметров по функциональным и принципиальным схемам.

Тема 2. Гироскопические приборы и системы

Основы теории гироскопа. Кориолисово ускорение, прецессия, нутация, гироскопический момент. Трехстепенной гироскоп в карданном подвесе, его основные свойства. Двухстепенные гироскопы и их свойства.

Датчики угловых скоростей (ДУС), электрический указатель поворотов (ЭУП), включатели коррекции ВК-53, ВК-90. Приборы и датчики углов крена и тангажа. Корректируемый трехстепенной гироскоп как указатель вертикали. Авиагоризонты АГБ, АГД, АГ-77. Особенности и различия указанных авиагоризонтов. Силовая гироскопическая стабилизация. Центральная гировертикаль ЦГВ и малогабаритная гировертикаль МГВ.

Виды курсов ВС. Методы измерения курса. Магнитный компас, индукционный датчик ИД-3. Гирополукомпас ГПК-52. Азимутальная и горизонтальная коррекции в гирополукомпасе. Жидкостной маятниковый переключатель ЖМП. Принцип комплексирования датчиков курса. Курсовые системы КС-6, ТКС, БСКВ. Литература: [8, 11].

Методические указания

Необходимо изучить поведение свободного трехстепенного гироскопа и его свойства (устойчивость, прецессия и нутация). Уяснить правило прецессии и уметь применять его при решении задачи на поведение трехстепенного гироскопа под действием момента внешних сил. При изучении авиагоризонтов уяснить причины необходимости продольной и поперечной систем коррекции и их работу. Отметить основные отличительные особенности авиационных авиагоризонтов.

Рассмотреть конструкцию и особенности работы приборов, созданных на основе двухстепенного гироскопа (ДУС, ЭУП, ВК).

При изучении видов курсов воздушного судна необходимо уяснить линии отсчетов курсов, применяемые в авиации, обратить внимание на углы магнитного склонения и магнитной девиации.

При изучении принципа действия "магнитного зонда" необходимо понять, что назначение питающей обмотки (обмотки подмагничивания) - изменять магнитную проницаемость пермаллоевых сердечников до насыщения.

При изучении гирополукомпаса необходимо понять физическую сущность азимутальной коррекции, необходимость которой возникает из-за возникновения «кажущегося ухода», понять назначение выключателя коррекции в цепи горизонтальной коррекции.

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 самоконтроля

1. Изобразить гироскоп в карданном подвесе и определить его поведение под действием момента внешних сил.

2. Напишите формулы для кинетического момента гироскопа, угловой скорости прецессии и гироскопического момента.
3. Какие цепи коррекции применяются в авиагоризонтах и гировертикалях и каков их принцип действия?
4. В чем принципиальное отличие авиагоризонтов от гировертикалей?
5. Каким правилом определяется ось чувствительности двухстепенного гироскопа?
6. Какие цепи коррекции применяются в гирополукомпасе и гироагрегате курсовой системы и каков их принцип действия?
7. В чем заключается отличительная особенность точной курсовой системы?

Тема 3. Навигационные системы

Основные навигационные параметры и системы координат (географическая, главноортодромическая, частноортодромическая). Эллипсоид вращения Красовского. Навигационный треугольник скоростей. Аэротрические, доплеровские и воздушно-доплеровские системы счисления пути. Основные функциональные зависимости. Блок-схема. Принцип действия. Погрешности.

Комплексные системы счисления пути. Погрешности систем счисления пути. Инерциальная навигация - физические основы, принцип действия, алгоритмы. Акселерометр, устройство, принцип действия. Графики пути, скорости, ускорения. Маятник Шулера.

Инерциальная навигационная система с интегральной коррекцией. Платформенная инерциальная система И-11. Бесплатформенная инерциальная навигационная система И-42-1С на базе лазерных датчиков угловых скоростей. Литература: [8, 9, 10].

Методические указания

При изучении систем навигации необходимо уяснить какие навигационные параметры требуются для определения координат центра масс ВС методами аэротрического и доплеровского счисления пути.

Оценить преимущества и недостатки инерциальных навигационных систем по отношению к аэротрическим и доплеровским системам.

Следует понять физическую суть математического маятника Шулера и его техническую реализацию. Чувствительным элементом инерциальной системы является акселерометр, измеряющий кажущееся ускорение.

При рассмотрении маятникового компенсационного акселерометра нужно обратить внимание на его конструкцию, знать, как получается метациентр, какие функции выполняют датчик угла и датчик момента.

При изучении инерциальных навигационных систем необходимо обратить внимание на различия в видах выставки для платформенных и бесплатформенных систем.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие ортодромии от локсодромии?

2. Постройте навигационный треугольник скоростей.
3. Нарисуйте функциональную схему аэрометрической системы счисления пути.
4. Нарисуйте функциональную схему доплеровской системы счисления пути.
5. Приведите алгоритмы, реализуемые в инерциальной навигационной системе.
6. Начертите графики пути, скорости и ускорения инерциальной навигационной системы.
7. Изобразите маятник Шулера и схему его технической реализации.
8. В чем преимущество компенсационного акселерометра?
9. Перечислите достоинства и недостатки аэрометрических, доплеровских и инерциальных систем навигации.

Тема 4. Аналоговые бортовые пилотажно-навигационные комплексы

Структурная схема типового автопилота. Законы управления автопилота в продольном и боковом каналах.

Бортовой пилотажно-навигационный комплекс самолета Ту-154. Структурная схема автоматической бортовой системы управления АБСУ-154. Автоматическая система управления САУ-154, система траекторного управления СТУ-154, автомат тяги АТ-6. Литература: [9].

Методические указания

Изучая автопилоты, необходимо обратить внимание на виды и техническую реализации обратных связей. Надо четко понимать, что в каналах тангажа, крена и курса одного и того же автопилота могут применяться различные виды обратных связей (скоростная, изодромная или жесткая). Знать о назначении и физической сущности передаточных чисел. Уметь анализировать законы управления.

При изучении данной темы необходимо понять, что переход от автоматических систем управления к бортовым пилотажно-навигационным комплексам - это объективная реальность, обусловленная следующими факторами:

- рост объема функций, выполняемых БПНК;
- усложнение законов управления;
- постоянно повышающиеся требования к безопасности полетов.

Необходимо разобраться в связях информационных датчиков с системой автоматического управления (на примере САУ-154). Понять преимущества триплексной схемы построения АБСУ-154.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие элементы входят в состав сервопривода?
2. Назначение рулевых агрегатов РА-56.
3. Для чего служит механизм триммерного эффекта?
4. Какие сигналы вырабатывает малогабаритная гировертикаль МГВ?
5. Назначение и принцип работы кворум-элемента.

6. Какие сигналы от каких систем поступают в СТУ-154?
7. Назначение исполнительного механизма автомата тяги?
8. Перечислите основные режимы работы АБСУ-154.

Тема 5. Комплексы цифрового пилотажно-навигационного оборудования.

Базовый комплекс стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования БКСЦПНО самолета Ил 96-300. Вычислительные системы самолетовождения ВСС, управления полетом ВСУП и тягой ВСУТ. Система электронной индикации СЭИ-85. Комплексная информационная система сигнализации КИСС. Система воздушных сигналов СВС-85. Система предупреждения приближения земли СППЗ. Система предупреждения критических режимов СПКР. Литература: [9, 10, 12].

Методические указания

При изучении БКСЦПНО обратить внимание на трехуровневый принцип построения средств контроля. Понять преимущества цифровых пилотажно-навигационных комплексов перед аналоговыми.

Особое внимание обратить на многочисленность навигационного оборудования БКСЦПНО, уметь объяснить, зачем необходимо такое перенасыщение комплекса (требования ИКАО, необходимость полетов по зарубежным маршрутам и т.д.).

Понять особенности технической эксплуатации БКСЦПНО, чем она принципиально отличается от эксплуатации аналогового оборудования.

Вопросы для самопроверки

1. Какая система в БКСЦПНО является источником сигналов тангажа, крена и курса?
2. Какие функции реализует ВСС?
3. Назначение и состав ВСУП.
4. Назначение и состав ВСУТ. Составьте схему аналогово-цифрового БПНК.
5. Какая система в БКСЦПНО является источником сигналов барометрической высоты и приборной скорости?
6. Назначение и состав СЭИ.
7. Назначение и состав СПКР.
8. В чем основные эксплуатационные преимущества цифровых комплексов перед аналоговыми?

8. Названия лабораторных занятий и их объем в часах

Раздел 1.

8.1. «Исследование авиационного генератора постоянного тока параллельного возбуждения» - 4 часа.

8.2. «Изучение первичной системы электроснабжения самолета Ту-154» - 4 часа.

Раздел 2.

8.3 «Исследование основных свойств гироскопа с тремя степенями свободы. Авиагоризонт» - 4 часа.

9. Контрольная работа

Для контроля проработки курса студенты выполняют контрольную работу по двум разделам: электрооборудование и приборное оборудование.

Контрольная работа должна быть выполнена в срок и прислана в университет за 10 дней до приезда студента на экзаменационно-зачетную сессию.

Работа выполняется и пишется чернилами или пастой, четко, без помарок, допускается печатный текст. На листах тетради оставляются поля для замечаний рецензента. В конце работы нужно привести перечень используемой литературы. Работа должна быть подписана. Без этого она считается недействительной и будет возвращена студенту без рассмотрения.

Все принципиальные блок-схемы, конструкторские чертежи выполняются в соответствии с ЕСКД и ГОСТ.

Общий объем контрольной работы не должен превышать 15-20 стр. печатного текста шрифтом 12 или 14.

Проработанный материал, который необходимо отразить в контрольной работе, должен быть изложен в произвольной форме согласно плану:

- назначение прибора, агрегата, системы;
- принцип действия (по схеме);
- основные технические данные;
- краткое устройство или принципиальная схема;
- основные вопросы эксплуатации прибора, агрегата, системы.

Выбор варианта задания осуществляется по приведенной таблице в пособии по выполнению контрольных работ.

Контрольная работа включает одну задачу и два контрольных вопроса. Номер варианта студент устанавливает по шифру зачетной книжки. Последняя цифра указывает номер варианта, номера контрольных вопросов приведены в табл.3.

Задача

1. Определить графоаналитическим методом ток возбуждения и сопротивление в цепи обмотки возбуждения генератора параллельного возбуждения для режима холостого хода при $U=U_n$ 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.

3. Объяснить причины изменения напряжения генератора.

4. Построить скоростную характеристику $n=f(I_a)$ при работе машины в двигательном режиме.

5. Объяснить причины изменения частоты вращения электрической машины в двигательном режиме при изменении: а) момента нагрузки; б) сопротивления в цепи возбуждения.

Таблица 1.

Параметры генератора

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

Методические указания

Исходные данные приведены в табл.1. Принять рабочую температуру обмоток машины ($T_{\text{раб.}}$) 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: $I_{\text{во}}$ - ток возбуждения, при котором ЭДС холостого хода (E_0) равна U_n (при частоте вращения $n=n_{\text{min}}$). $I_{\text{в}'}$, E' - соответственно ток возбуждения ЭДС в относительных единицах при $n=n_{\text{min}}$.

Пересчет характеристик холостого хода для верхнего предела частоты вращения ($n=n_{\text{max}}$) осуществить, используя соотношение:

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

где $E_{n_{\text{min}}}$ - значение ЭДС по характеристике холостого хода при n_{min} (по табл.2), пересчитанное в вольты с учетом номинального напряжения генератора.

Для определения токов возбуждения в амперах воспользоваться соотношением:

$$4I_{\text{во}} R_{\text{в}}(393^\circ\text{К}) = 1,5U_n,$$

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

Таблица 2.

Характеристика холостого хода генератора в относительных единицах

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

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 ($R_{в(393^{\circ}K)}$) и добавочным сопротивлением ($R_{вдоб}$):

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

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_H 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 [3].

Принять падение напряжения в щеточных контактах при номинальном режиме $\Delta U_{щ} = 2В$.

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 $U_{п} = 24В$.

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

$$E = U_{п} - I_{я} R_{я} - \Delta U_{щ}.$$

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

$$I'_в = I_в - I_{вян} (I_{я} / I_{ян}),$$

где: $I_в$ - ток возбуждения, $I_в = U_{п} / R_{в(393(K))}$; $I_{я}$ - ток якоря;

$I_{ян}$ - номинальный ток якоря.

По характеристике холостого хода определить ЭДС (E'), создаваемую током $I'_в$. Частоту вращения, соответствующую значению ЭДС якоря E , определить из соотношения: $n = n_{\min} (E / E')$.

10. Перечень контрольных вопросов.

Таблица 3.

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

1. Виды высот. Барометрический высотомер типа ВД. Принципиальная схема, работа, основные погрешности. Особенности эксплуатации.

2. Комбинированный указатель скорости типа КУС. Кинематическая схема, принцип действия.

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.

6. Трехстепенной гироскоп. Кинематическая схема. Основные свойства.

Аналитические выражения для определения H , $\omega_{\text{пр}}$, M_{Γ} .

7. Выключатель коррекции ВК-53. Назначение, функциональная 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. Функциональная схема точной курсовой системы ТКС-П2.

11. Индукционный датчик курса типа ИД, схема, принцип действия.

12. Аэротрическая система счисления пути. Функциональная схема, принцип действия.

13. Доплеровская система счисления пути. Функциональная схема, принцип действия.

14. Маятниковый компенсационный акселерометр. Назначение, схема, принцип действия.

15. Инерциальная навигационная система И-11. Назначение, принцип действия и структурная схема.

16. Инерциальная навигационная система БИНС И-42-1С. Назначение, принцип действия и схема функциональных связей.

17. Назначение и состав и АБСУ-154.

18. Состав базового комплекса стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования БКСЦНО.

19. Назначение, состав и режимы сигнализации СППЗ-85.

20. Назначение, состав и основные характеристики СВС-85.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Учебный план дисциплины.....	4
2. Основные сведения о дисциплине.....	4
3. Рекомендуемая литература.....	5
4. Электронные средства информации.....	6
5. Электронный адрес кафедры.....	6
6. Структура дисциплины.....	6
7. Учебная программа дисциплины.....	7
8. Названия лабораторных занятий и их объем в часах.....	19
9. Контрольная работа.....	20
10. Перечень контрольных вопросов.....	23