

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

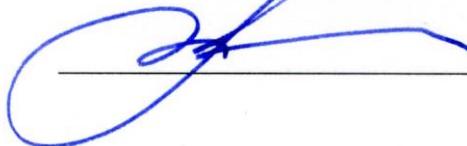
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева

Кафедра «Системы автоматического управления»

Утверждено на заседании кафедры
«Системы автоматического управления»
«09» декабря 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



О.В.Горячев

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Электропривод летательных аппаратов»

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы специалитета**

по специальности

24.05.06 Системы управления летательными аппаратами

со специализацией

Системы управления беспилотными летательными аппаратами

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 240506-01-23

Тула 2022 год

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ
рабочей программы дисциплины (модуля)

Разработчик:

Горячев Олег Владимирович,
зав. каф САУ, д.т.н, профессор
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

1 Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины(модуля) является приобретение знаний, умений и навыков в области методов, способов и средств, решения вопросов анализа и синтеза электрических приводов, используемых в системах управления беспилотных летательных аппаратов специализированных комплексов.

Задачами освоения дисциплины (модуля):

- изучение основных разделов современной теории электрического следящего привода, силовых систем электрических приводов с различными типами исполнительных электрических двигателей, усилильно-преобразующих и информационно-измерительные устройств электрических приводов;
- приобретения умения и навыков разработки математических моделей силовых систем электрических приводов с различными типами электрических двигателей;
- приобретение навыков и способов теоретического и экспериментального исследования характеристик электрических приводов высокоточных комплексов с различными типами исполнительных электрических двигателей.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина (модуль) относится к обязательной части ОПОП ВО.

Дисциплина (модуль) изучается в 9 семестре.

3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы (формируемыми компетенциями), установленными в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы, приведён ниже.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

Знать:

1) основные типы и характеристики электрических исполнительных двигателей, типовые датчики обратной связи, статические и динамические характеристики силовых агрегатов принципы построения электроприводов ЛА, основные типы электроприводов используемых в беспилотных ЛА (код компетенции – ОПК-7, код индикатора ОПК-7.1);

Уметь:

1) выбирать различные типы электрических приводов для конкретных систем управления беспилотных ЛА, производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем приводов ЛА (код компетенции – ОПК-7, код индикатора ОПК-7.2);

Владеть:

1) теоретическими и экспериментальными методами исследования электроприводов беспилотных ЛА, методами анализа и синтеза корректирующих устройств электрических приводов беспилотных ЛА, оценивать в процессе проведения лабораторных и натурных испытаний результаты аналитического конструирования систем управления приводов ЛА (код компетенции – ОПК-7, код индикатора ОПК-7.3).

Полные наименования компетенций представлены в общей характеристики основной профессиональной образовательной программы.

4 Объем и содержание дисциплины (модуля)

4.1 Объем дисциплины (модуля), объем контактной и самостоятельной работы обучающегося при освоении дисциплины (модуля), формы промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Номер семестра	Формы промежуточной аттестации	Общий объем в зачетных единицах	Общий объем в академических часах	Объем контактной работы в академических часах						Объем самостоятельной работы в академических часах
				Лекционные занятия	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные работы	Клинические практические занятия	Консультации	Промежуточная аттестация	
Очная форма обучения										
9	Э	5	180	48	16	16	–	2	0,25	97,75
Итого	Э	5	180	48	16	16	–	2	0,25	97,75

Условные сокращения: Э – экзамен, ЗЧ – зачет, ДЗ – дифференцированный зачет (зачет с оценкой), КП – защита курсового проекта, КР – защита курсовой работы.

4.2 Содержание лекционных занятий

Очная форма обучения

№ п/п	Темы лекционных занятий	
	9 семестр	
1	Применение электрических приводов в системах управления летательными аппаратами. Вклад российских и советских ученых в развитии теории и практики электрических приводов.	
2	Принцип действия и блок-схема следящего электропривода. Следящий электропривод постоянного тока.	

№ п/п	Темы лекционных занятий
3	Статические и динамические характеристики коллекторных двигателей с независимым возбуждением. Импульсное управление электрическим двигателем постоянного тока. Динамические, статические и энергетические характеристики систем "Импульсный усилитель мощности - двигатель постоянного тока".
4	Электрический привод переменного тока. Математическая модель обобщенного двухфазного электрического двигателя. Математическая модель асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором. Основные характеристики АТД.
5	Способы управления АТД. Скалярные, векторные способы управления. Структуры приводов переменного тока с асинхронными электрическими двигателями.
6	Математическая модель синхронного электрического двигателя. Способы управления синхронными электрическими двигателями. Структуры приводов синхронными электрическими двигателями.
7	Электрические приводы с шаговыми электрическими двигателями. Принцип работы ШД, способы управления ШД. Структуры электрических приводов с ШД.
8	Законы движения объекта регулирования. Основы энергетического расчета электрических приводов. Выбор исполнительного двигателя. Предварительный расчет редуктора.
9	Синтез алгоритмов коррекции электрических приводов. Метод синтеза последовательного корректирующего устройства с использованием ЛАФЧХ.
10	Синтез параллельного корректирующего устройства методом ГОС. Синтез корректирующих устройств в структурах электроприводов, реализующих принцип подчиненного регулирования.

4.3 Содержание практических (семинарских) занятий

Очная форма обучения

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
9 семестр	
1.	Статические характеристики коллекторных двигателей с независимым возбуждением.
2.	Динамические характеристики коллекторных двигателей с независимым возбуждением.
3.	Бесконтактные двигатели постоянного тока
4.	Статические и динамические характеристики реверсивных и нереверсивных ЭСП, работающих по системе ИУ - Д.
5.	Энергетические характеристики реверсивных и нереверсивных ЭСП, работающих по системе ИУ - Д.
6.	Укрупненные принципиальные схемы ЭСП
7.	Основные усилительно преобразовательные устройства ЭСП с импульсным управлением.
8.	Статические и динамические характеристики систем ТУВ - Д с раздельным и совместным управлением тиристорными группами.
9.	Принцип работы и основные характеристики асинхронных трех фазных двигателей при управлении частотой и напряжением статора.

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
10.	Принцип работы основных усилительно - преобразующих электронных элементов ЭСП переменного тока.
11.	ЭСП переменного тока частотного управления; область их использования в технике; характеристики. ЭСП переменного тока частотно-токового управления; область их использования в технике; характеристики. ЭСП переменного тока векторного управления; область их использования в технике; характеристики
12.	Принцип действия и основные типы асинхронных двухфазных двигателей. Симметричный и несимметричный методы управления частотой вращения и характеристики АДД при этих способах управления. Блок-схемы ЭСП с АДД. Область использования приводов с АДД.
13.	Статические, динамические и энергетические характеристики ЭСП с электромагнитными муфтами. Принцип работы основных усилительно - преобразующих электронных элементов ЭСП с электромагнитными муфтами. Схемы форсировки электромагнитных процессов в муфтах. Принципиальные схемы ЭСП с электромагнитными муфтами.
14.	Принцип действия, статические характеристики, исполнительных механизмов микроперемещений на основе пьезокерамики. Динамические характеристики и структурное схемы исполнительных механизмов;
15.	Выбор исполнительного элемента по энергетическим характеристикам объекта регулирования. Определение передаточного числа редуктора и проверка выбранного исполнительного двигателя.

4.4 Содержание лабораторных работ

Очная форма обучения

№ п/п	Наименования лабораторных работ
9 семестр	
1.	Лабораторная работа №1. Изучение конструкций механических частей электрических следящих приводов.
2.	Лабораторная работа №2. Изучение принципа действия, конструкции и характеристик бесконтактного двигателя постоянного тока "
3.	Лабораторная работа №3. Изучение импульсного способа управления скоростью вращения двигателя постоянного тока.
4.	Лабораторная работа №4. Исследование статических и энергетических характеристик систем "импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением".
5.	Лабораторная работа №6(виртуальная): Изучение принципа действия и характеристик реверсивного следящего привода, работающего по системе "транзисторный импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением"
6.	Лабораторная работа №7. Изучение принципа действия и характеристик реверсивного следящего привода, работающего по системе "транзисторный импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением"
7.	Лабораторная работа №8. Исследование характеристик ЭСП переменного тока частотного управления

№ п/п	Наименования лабораторных работ
8.	Лабораторная работа №9(виртуальная): Проектирование контура управления приводом постоянного тока

4.5 Содержание клинических практических занятий

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

4.6 Содержание самостоятельной работы обучающегося

Очная форма обучения

№ п/п	Виды и формы самостоятельной работы
9 семестр	
1	Подготовка к практическим (семинарским) занятиям
2	Подготовка к лабораторным работам
3	Подготовка отчета по лабораторным работам
4	Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение

5 Система формирования оценки результатов обучения по дисциплине (модулю) в рамках текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося

Очная форма обучения

Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося		Максимальное количество баллов	
9 семестр			
Текущий контроль успеваемости	Первый рубежный контроль	Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:	
		Посещение лекционных занятий	5
		Работа на практических (семинарских) занятиях	10
		Выполнение лабораторных работ	15
	Второй рубежный контроль	Итого	30
		Оцениваемая учебная деятельность обучающегося:	
		Посещение лекционных занятий	5
		Работа на практических (семинарских) занятиях	10
Промежуточная аттестация		Выполнение лабораторных работ	15
		Итого	30
Дифференцированный зачет		40 (100*)	

* В случае отказа обучающегося от результатов текущего контроля успеваемости

Шкала соответствия оценок в стобалльной и академической системах оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Система оценивания результатов обучения	Оценки			
Стобалльная система оценивания	0 – 39	40 – 60	61 – 80	81 – 100
Академическая система оценивания (экзамен, дифференцированный зачет, защита курсового проекта, защита курсовой работы)	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Академическая система оценивания (зачет)	Не зачтено	Зачтено		

6 Описание материально-технической базы (включая оборудование и технические средства обучения), необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) требуются:

- учебная аудитория, оснащенная видеопроектором, настенным экраном, и персональным компьютером или ноутбуком (мультимедийный класс) (лекционные занятия);
 - учебная аудитория, оборудованная доской для написания мелом или маркером (проведение практических занятий и консультаций);
 - специализированная лаборатория, с источниками питания: переменного тока 220В, 50Гц; 36В 400Гц; постоянный ток 27В;
 - компьютерный класс (виртуальные лабораторные работы).
-
- Рабочее место преподавателя должно быть оснащено видеопроектором, ноутбуком;
 - ПК должен быть оснащен офисными программами, содержащими текстовые редакторы, электронные таблицы, средства создания презентаций и т.д.

Лабораторные стенды с образцами информационных устройств, датчиков и специализированного оборудования:

- Привод переменного тока ЭА-ПШМ 31-01В7СХЛЧ;
- Стенд «Бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ);
- Стенд для снятия статических характеристик систем импульсный усилитель - двигатель «СТХ-3»;
- Стенд для снятия энергетических характеристик систем импульсный усилитель - двигатель «СТХ-3Э» -2шт.
- Стенд «ЭМУ-Д (Исследование функционирования и динамических характеристик системы «электромашинный усилитель с поперечным полем - двигатель постоянного тока с независимым управлением»;
- Стенд «ЭСП (Исследование функционирования и динамических характеристик системы «импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым управлением»;

Стенд «ИИСУ-ДПТ (Исследование импульсного метода управления двигателем постоянного тока ».

7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

7.1 Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч.пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с.:ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М.Терехов, О.И.Осипов; под ред. В.М.Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические системы : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2009 .— 215 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С.Блейз , В.Н.Бродовский, В.А.Введенский и др. / Под ред. Б.К.Чемоданова .— 2-е изд.,перераб.и доп. — М. : МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио – глобус, 2013. – 208с.

7.2 Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб.пособие для вузов / И.П.Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш.шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М.Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И.Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И.Алиев,М.Б.Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

7.3. Периодические издания

1. Журнал "Мехатроника, автоматизация, управление"
2. Журнал " Приводная техника"
3. Методические указания имеются как в бумажном виде в методическом кабинете кафедры САУ, так и в электронном виде в единой кафедральной информационной базе (URL: <\\Sauroot2k-r\KaфедраCAU>).

8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://www.exponenta.ru> – интернет-ресурс, посвященный вопросам математического моделирования.

9 Перечень информационных технологий, необходимых для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

9.1 Перечень необходимого ежегодно обновляемого лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Текстовый редактор Microsoft Word.
2. Пакет офисных приложений «МойОфис».

3. Пакет прикладных математических программ Matlab или его свободно распространяемый аналог Scilab.

9.2 Перечень необходимых современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. Компьютерная справочная правовая система Консультант Плюс.

Фонд оценочных средств по курсу "Электрический привод летательных аппаратов"

1. Классификация электрических приводов. Основные типы следящих электрических приводов (ЭП) в технических комплексах. Примеры применения ЭП в технических комплексах.
2. Обобщенная структурно-функциональная схема ЭП.
3. Общая характеристика и классификация систем управления ЭП. Основные показатели качества управления ЭП. Требования, предъявляемые к приводным системам.
4. Основные задачи, решаемые в процессе проектирования ЭП. Основные этапы проектирования ЭП.
5. Общие требования, предъявляемые к исполнительным двигателям ЭП.
6. Принцип работы и основные типы двигателей постоянного тока. Основные свойства исполнительных двигателей постоянного тока.
7. Статические и динамические характеристики коллекторных двигателей с независимым возбуждением.
8. Способы управления частотой вращения якоря ДПТ с НВ.
9. Установившиеся режимы работы ЭД ПТ с НВ при якорном способе управления. Механические характеристики ДПТ с НВ. Регулировочные характеристики ДПТ с НВ. Реакция якоря.
10. Регулирование частоты вращения якоря ДПТ с НВ (основные типы регулирования).
11. Электрические следящие приводы (ЭСП) с импульсным управлением. Особенности импульсного способа управления. Законы коммутации ключей.
12. Статические характеристики реверсивных ЭСП, работающих по системе ИУ-Д в режиме непрерывных токов.
13. Особенности импульсного способа управления частотой вращения якоря ДПТ с НВ. Динамические характеристики системы ИУ-Д.
14. Энергетические характеристики системы ИУ-Д. Энергетические характеристики ДПТ. Дополнительные потери энергии при импульсном способе управления.
15. Энергетические характеристики системы ИУ-Д. Зависимость дополнительных потерь от величины среднего напряжения. Дополнительные потери в ИУМ.
16. Основные принципы построения силовых полупроводниковых преобразователей ЭСП с ДПТ с НВ. Структура усилителя. Модулятор длительности импульсов.
17. Типы выходных каскадов ИУМ, используемых для управления ДПТ с НВ. Реверсивный и нереверсивный выходные каскады. Диаграммы токов в реверсивном выходном каскаде ИУМ.
18. Особенности управления силовыми полупроводниковыми ключевыми элементами в стойках выходного каскада ИУМ. Генерация "мертвого времени".
19. Особенности управления силовыми полупроводниковыми ключевыми элементами в стойках выходного каскада ИУМ. Бустстрепное питание драйверов ключей.
20. Укрупненные принципиальные схемы ЭСП. ЭСП постоянного тока с транзисторным УМ. Информационно-измерительные элементы ЭСП. ФЧВ.

21. Укрупненные принципиальные схемы ЭСП. ЭСП с СКВТ и обратными связями по скорости и току.
22. ЭП с АТД. Специфика управления АТД. Способы управления АТД в ЭСП. Основные принципы формирования врачающего магнитного поля в АТД.
23. Динамическая модель АТД. Основные допущения. Уравнения равновесия напряжений. Уравнения для расчета потокосцеплений. Уравнение равновесия моментов. Уравнение для определения электромагнитного момента.
24. Зависимости для расчета полных потокосцеплений обмоток АТД.
25. Понятие результирующего вектора. Результирующие вектора токов, напряжений и потокосцеплений АТД. Переход от фазных переменных к результирующему вектору и обратно.
26. Векторная форма записи математической модели АТД.
27. Системы координат, используемые для записи математической модели АТД. Переход от трехфазной системы к эквивалентной двухфазной системы координат и обратно.
28. Математическая модель АТД в неподвижной относительно обмоток статора СК.
29. Математическая модель АТД в СК, вращающейся с произвольной скоростью.
30. Математическая модель АТД в СК, вращающейся с синхронной скоростью.
31. Зависимости для расчета электромагнитного момента АТД.
32. Математическая модель АТД с КЗ ротором. Анализ АТД с КЗ ротором в неподвижной СК.
33. Схема замещения АТД для статических режимов работы. Т-образная схема замещения АТД.
34. Схема замещения АТД для статических режимов работы. Г-образная схема замещения АТД.
35. Расчет динамической механической характеристики АТД с КЗ ротором. Анализ динамической механической характеристики.
36. Статические (механические) характеристики АТД с КЗ ротором. Зависимость для расчета механической характеристики АТД.
37. Анализ механической характеристики АТД в координатах момент-скольжение. Вид механической характеристики АТД в координатах момент-скорость вращения ротора.
38. Основные законы управления частотой вращения ротора АТД. Функциональная схема полупроводниковых преобразователей частоты.
39. Амплитудное управление АТД. Механические характеристики АТД при амплитудном управлении. Достоинства и недостатки.
40. Амплитудно- частотное управление АТД. Механические характеристики АТД при амплитудно-частотном управлении. Достоинства и недостатки.
41. Управление амплитудно- частотное с постоянной перегрузочной способностью.
42. Управление амплитудно- частотное с постоянной мощностью.
43. Управление амплитудно- частотное при постоянстве полного потока (метод IR-компенсации).
44. Система частотно-токового управления АТД.
45. Структура выходного каскада трехфазного автономного инвертора напряжения для управления АТД. Способ коммутации АИН.
46. Способ π -коммутации АИН. Функциональная схема выходного каскада АИН. Диаграммы напряжений (силовых и управляющих). Схемы включения обмоток.
47. Функциональная схема электронного модуля, формирующего сигналы управления АИН для случая π -коммутации. таблицы кодов для управления ключами АИН.

48. Проблема сквозных токов в АИН и способы ее решения.
49. Управление амплитудой выходного напряжения в АИН с π -коммутацией. Преобразование цифрового кода в ШИМ-сигнал. Реверс АТД.
50. Понятие предельных динамических возможностей ЭСП. Поверхность предельных динамических состояний ИМ ЭСП (ППДСИМ).
51. Понятие нагрузочной линии ЭСП. ППДСИМ для ИД без учета инерционности электромагнитных переходных процессов.
52. Нагрузочная линия для гармонического закона движения выходного вала ЭСП.

Примеры экзаменационных билетов

ФГБОУ ВО«Тульский государственный университет»
Институт высокоточных систем им. В.П.Грязева
Кафедра систем автоматического управления

Специальность: 24.05.06 "Системы управления летательными аппаратами"
Форма обучения (*очная*)

Дисциплина "Электрический привод ЛА"

Экзаменационный билет №1

1. Обобщенная структурно-функциональная схема ЭП.
2. Понятие результирующего вектора. Результирующие вектора токов, напряжений и потокосцеплений АТД. Переход от фазных переменных к результирующему вектору и обратно.

Экзаменационный билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры
(протокол №1 от 28 августа 2018г.)

Заведующий кафедрой САУ _____ Горячев О.В.

ФГБОУ ВО«Тульский государственный университет»
Институт высокоточных систем им. В.П.Грязева
Кафедра систем автоматического управления

Специальность: 24.05.06 "Системы управления летательными аппаратами"
Форма обучения (*очная*)

Дисциплина "Электрический привод ЛА"

Экзаменационный билет №2

1. Принцип работы и основные типы двигателей постоянного тока. Основные свойства исполнительных двигателей постоянного тока.
2. Динамическая модель АТД. Основные допущения. Уравнения равновесия напряжений. Уравнения для расчета потокосцеплений. Уравнение равновесия моментов. Уравнение для определения электромагнитного момента.

Экзаменационный билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры
(протокол №1 от 28 августа 2018г.)

Заведующий кафедрой САУ _____ Горячев О.В.