

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы специалитета
по специальности
23.05.03 Подвижной состав железных дорог,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**Электронные и электромеханические системы управления
электрическими машинами высокоскоростного подвижного состава**

Специальность: 23.05.03 Подвижной состав железных дорог

Специализация: Высокоскоростной наземный транспорт

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 5214
Подписал: заведующий кафедрой Пудовиков Олег
Евгеньевич
Дата: 04.05.2023

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения учебной дисциплины "Электронные и электромеханические системы управления электрическими машинами высокоскоростного подвижного состава" являются:

- изучение математического описания и моделирования преобразовательной техники и электрических машин в векторном представлении;

- освоить принципы построения электроприводов и законов их управления на основе теории автоматического управления и синтеза замкнутых систем управления, математического описания электрических машин постоянного и переменного тока, широтно-импульсных преобразователей, автономных инверторов.

Задачей освоения учебной дисциплины "Электронные и электромеханические системы управления электрическими машинами высокоскоростного подвижного состава" является:

- освоение тяговых электрических машин высокоскоростного транспорта;

- освоения студентами систем управления электроприводами постоянного и переменного тока.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ПК-9 - Имеет навык выполнять обоснование параметров конструкции конструкций и систем подвижного состава высокоскоростного наземного транспорта.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

математические основы и способы построения моделей трансформаторов, электрических машин постоянного и переменного тока, преобразователей постоянного тока, выпрямителей, инверторов, законы, способы и алгоритмы управления в системах управления электроприводами постоянного и переменного тока.

Уметь:

формировать модели систем электропривода постоянного и переменного

тока, производить настройку и отладку систем управления электроприводов

Владеть:

прикладным программным обеспечением для построения систем управления электроприводами постоянного и переменного тока

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 11 з.е. (396 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов			
	Всего	Семестр		
		№6	№7	№8
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	192	80	64	48
В том числе:				
Занятия лекционного типа	96	32	32	32
Занятия семинарского типа	96	48	32	16

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 204 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	5 семестр Введение. Рассматриваемые вопросы: - содержание курса; - основы моделирования систем электропривода.
2	5 семестр Матричная лаборатория. Рассматриваемые вопросы: - структура, основные приемы работы, краткий видеокурс; - математический аппарат.
3	5 семестр Приложения, как интерактивный инструмент моделирования. Рассматриваемые вопросы: - моделирование электронных и электромеханических систем управления.
4	5 семестр Порядок построения и отладки моделей, примеры организации процесса моделирования. Рассматриваемые вопросы: - состав библиотек, основные приемы работы.
5	5 семестр Принципы построения систем электропривода. Рассматриваемые вопросы: - понятие передаточной функции.
6	5 семестр Динамические и частотные характеристики. Рассматриваемые вопросы: - пример анализа передаточной функции.
7	5 семестр Замкнутые системы автоматического управления. Рассматриваемые вопросы: - принцип обратной связи; - переходные характеристики; - технический и симметричный оптимум.
8	5 семестр Моделирование электрических цепей постоянного и переменного тока. Рассматриваемые вопросы: - моделирование полупроводниковых элементов
9	5 семестр Топология электроприводов. Рассматриваемые вопросы: - основные типы и требования, предъявляемые к системам управления автоматическими приводами.
10	5 семестр Полупроводниковые преобразователи. Рассматриваемые вопросы: - полупроводниковые преобразователи в системах управления электрическими машинами.
11	5 семестр Неуправляемые и управляемые выпрямители. Рассматриваемые вопросы: - схемы, принцип управления, энергетические характеристики.
12	5 семестр Понятие о широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Рассматриваемые вопросы: - способы построения и управления ШИМ.
13	5 семестр Моделирование процессов в неуправляемых и управляемых тиристорных выпрямителях с ШИМ при работе на нагрузку. Рассматриваемые вопросы: - гармонический и спектральный анализ токов и напряжений выпрямителей.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
14	5 семестр Одно- и трехфазные трансформаторы в схемах с управляемыми выпрямителями. Рассматриваемые вопросы: - выбор параметров; - моделирование трансформаторов.
15	5 семестр Четырехквadrантное электромеханическое преобразование в электроприводе. Рассматриваемые вопросы: - широтно-импульсные преобразователи (ШИП); - схемы, способы управления.
16	5 семестр Двухквadrантный и четырехквadrантный ШИП с широтно-импульсной модуляцией. Рассматриваемые вопросы: - основные характеристики и способы управления.
17	5 семестр Моделирование процессов в ШИП. Рассматриваемые вопросы: - гармонический и спектральный анализ токов и напряжений ШИП.
18	6 семестр Математическое описание машин постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - классическая и операторная форма.
19	6 семестр Моделирование двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Рассматриваемые вопросы: - моделирование реостатного пуска.
20	6 семестр Моделирование двигателя постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - моделирование двигателя последовательного возбуждения постоянного тока.
21	6 семестр Виртуальные модели двигателей. Рассматриваемые вопросы: - моделирование двигателей постоянного тока.
22	6 семестр Понятие о принципах моделирования в среде Simscape. Рассматриваемые вопросы: - техника моделирования в среде Simscape.
23	6 семестр Настройка контроллера. Рассматриваемые вопросы: - основные принципы настройки контроллера на примере механической системы
24	6 семестр Скоростная система постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - разработка одноконтурной системы.
25	6 семестр Скоростная система постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - разработка двухконтурной системы.
26	6 семестр Simscape-модель двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением. Рассматриваемые вопросы: - настройка ПИД-регулятора системы управления угловой скоростью в Simscape-модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.
27	6 семестр Топология электроприводов. Рассматриваемые вопросы:

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- преобразователи для управления МПТ; - управляемые выпрямители и широтно-импульсные преобразователи с ШИМ.
28	6 семестр Моделирование преобразователей. Рассматриваемые вопросы: - моделирование преобразователей для питания и управления двигателями постоянного тока.
29	6 семестр Широтно-импульсная модуляция в управляемых выпрямителях. Рассматриваемые вопросы: - примеры моделей выпрямителей с ШИМ.
30	6 семестр Виртуальная модель электропривода постоянного тока с однофазным управляемым выпрямителем. Рассматриваемые вопросы: - разработка модели электропривода постоянного тока с однофазным управляемым выпрямителем.
31	6 семестр Виртуальная модель электропривода постоянного тока с трехфазным управляемым выпрямителем Рассматриваемые вопросы: - разработка модели электропривода постоянного тока с трехфазным управляемым выпрямителем.
32	6 семестр Модель электропривода. Рассматриваемые вопросы: - разработка модели электропривода постоянного тока с ШИП.
33	6 семестр Реверсивный (четырёхквadrантный) электропривод. Рассматриваемые вопросы: - реверсивный (четырёхквadrантный) электропривод постоянного тока с трехфазным управляемым выпрямителем.
34	6 семестр Моделирование трансформаторов. Рассматриваемые вопросы: - Simscape-модели двухобмоточного однофазного и трехфазного трансформаторов.
35	7 семестр Электропривод переменного тока. Рассматриваемые вопросы: - конструкции и основные характеристики машин переменного тока; - пространственное преобразование векторов; - неподвижная и вращающаяся система координат и их преобразование; - принцип формирования электроприводов переменного тока в системах автоматического управления.
36	7 семестр Математическое описание асинхронной машины (АМ). Рассматриваемые вопросы: - системы дифференциальных уравнений АМ в неподвижной и вращающейся системах координат.
37	7 семестр Система относительных единиц. Рассматриваемые вопросы: - расчет параметров модели АМ по паспортным данным; - функциональные модели АМ в неподвижной и вращающейся системах координат.
38	7 семестр Виртуальные модели АМ. Рассматриваемые вопросы: - полупроводниковые преобразователи в электроприводе переменного тока; - автономные инверторы; - принцип построения; - функциональные и виртуальные модели в системах электропривода переменного тока.
39	7 семестр Способы представления электромагнитной системы. Рассматриваемые вопросы: - законы управления асинхронным электроприводом; - скалярное управление.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
40	7 семестр Векторное управление асинхронным электроприводом. Рассматриваемые вопросы: - основные принципы. Управление с ориентацией по полю (Field Oriented Control); - асинхронный привод с токовым управлением; - пример построения модели.
41	7 семестр Прямое управление моментом (Direct Torque Control) в асинхронном электроприводе. Рассматриваемые вопросы: - примеры построения и настройки моделей современных систем асинхронного электропривода.
42	7 семестр Синхронные двигатели с постоянными магнитами (PMSM). Рассматриваемые вопросы: - конструкции, основные характеристики; - математическое описание и примеры моделей приводов с PMSM.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	5 семестр Матричная лаборатория. Рассматриваемые вопросы: - основные приемы работы; - математический аппарат; - графика, аппроксимация и интерполяция.
2	5 семестр Базовые принципы моделирования электромеханических систем. Рассматриваемые вопросы: - библиотеки элементов; - формирование моделей на примере передаточных функций.
3	5 семестр Моделирование электрических цепей. Рассматриваемые вопросы: - моделирование цепей постоянного и переменного тока.
4	5 семестр Моделирование цепи с управляемыми источниками напряжения и тока. Рассматриваемые вопросы: - работа с параллельной нагрузкой.
5	5 семестр Моделирование трехфазной электрической цепи. Рассматриваемые вопросы: - работа с несимметричной активной нагрузкой и с измерением реактивной мощности.
6	5 семестр Диод. Рассматриваемые вопросы: - моделирование однополупериодного неуправляемого выпрямителя; - анализ гармонического состава.
7	5 семестр Тиристор. Рассматриваемые вопросы: - моделирование однополупериодного управляемого выпрямителя; - анализ гармонического состава.
8	5 семестр ГТО. Рассматриваемые вопросы: - моделирование импульсного регулятора;

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
	- анализ гармонического состава.
9	5 семестр IGBT. Рассматриваемые вопросы: - модель СВЧ-генератора; - модель импульсного регулятора постоянного напряжения.
10	5 семестр Двухмассовая механическая система. Рассматриваемые вопросы: - система с жестким упором.
11	5 семестр Механическая система передачи движения. Рассматриваемые вопросы: - модель передачи вращательного и поступательного движения.
12	6 семестр Разработка функциональной модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Рассматриваемые вопросы: - расчет параметров, построение модели в Simulink на основе дифференциальных уравнений; - анализ полученных характеристик при разгоне и набросе нагрузки.
13	6 семестр Разработка модели реостатного пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Рассматриваемые вопросы: - построение модели в Simulink, на основе дифференциальных уравнений; - анализ полученных характеристик при разгоне и набросе нагрузки.
14	6 семестр Разработка модели реостатного пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Работа в программном пакете Matlab/
15	6 семестр Разработка функциональной модели двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Рассматриваемые вопросы: - построение модели в Simulink с использованием библиотечных блоков; - анализ полученных характеристик при разгоне и набросе нагрузки.
16	6 семестр Разработка виртуальных моделей двигателей постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - построение модели в Simulink, анализ полученных характеристик при разгоне и набросе нагрузки.
17	6 семестр Разработка одноконтурной скоростной системы постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - расчет ПИ-регулятора; - построение модели с обратной связью и регулятором скорости.
18	6 семестр Разработка двухконтурной скоростной системы постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - расчет ПИ-регулятора; - построение модели с обратной связью и регулятором скорости.
19	6 семестр Разработка виртуальной модели электропривода постоянного тока с однофазным управляемым выпрямителем. Рассматриваемые вопросы: - построение модели электропривода с обратной связью и регулятором скорости; - настройка регулятора с использованием PID-тюнера.
20	6 семестр Разработка виртуальной модели электропривода постоянного тока с трехфазным управляемым выпрямителем. Рассматриваемые вопросы:

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
	- построение модели с обратной связью и регулятором скорости; - настройка регулятора с использованием PID-тюнера.
21	6 семестр Разработка модели электропривода постоянного тока с ШИП. Рассматриваемые вопросы: - построение модели подсистемы широтно-импульсной модуляции и включение ее в модель двигателя; - анализ характеристик при изменении параметров модуляции и нагрузки.
22	6 семестр Реверсивный (четырёхквadrантный) электропривод постоянного тока с трехфазным управляемым выпрямителем (демонстрационно). Рассматриваемые вопросы: - анализ модели и характеристик при изменении характера нагрузки.
23	7 семестр Исследование однофазного (мостового) инвертора с симметричным законом управления Рассматриваемые вопросы: - построение модел; - быстрое преобразование Фурье; - гармонический анализ токов и напряжений инвертора; - построение и анализ внешней, регулировочной характеристик инвертора.
24	7 Исследование однофазного (мостового) инвертора с несимметричным законом управления. Рассматриваемые вопросы: - построение модели; - гармонический анализ токов и напряжений инвертора; - построение и анализ внешней, регулировочной характеристик инвертора.
25	7 Исследование трехфазного (мостового) инвертора с симметричным законом управления. Рассматриваемые вопросы: - построение модели; - гармонический и спектральный анализ токов и напряжений инвертора; - построение и анализ внешней, регулировочной характеристик инвертора.
26	7 семестр Функциональные модели асинхронного двигателя Рассматриваемые вопросы: - построение моделей асинхронного двигателя на основе дифференциальных уравнений в неподвижной и вращающейся системе координат; - обобщенная модель АД с преобразованием координат из вращающихся в неподвижные.
27	7 семестр Виртуальная модель асинхронного двигателя. Рассматриваемые вопросы: - построение модели АД с использованием библиотечных блоков; - расчет параметров АД по паспортным данным; - расчет и построение механической и рабочих характеристик.
28	7 Асинхронный электропривод с синусоидальной ШИМ и преобразованием координат. Рассматриваемые вопросы: - построение модели подсистемы синусоидальной широтно-импульсной модуляции и включение ее в модель асинхронного двигателя; - анализ характеристик при изменении параметров модуляции и нагрузки.
29	7 Асинхронный электропривод с векторной широтно-импульсной модуляцией. Рассматриваемые вопросы: - построение модели подсистемы пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции и

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
	включение ее в модель асинхронного двигателя; - анализ характеристик при изменении параметров нагрузки.
30	7 Синхронный электропривод с полеориентированным управлением и ослаблением поля (PMSM Field Weakening Control). Рассматриваемые вопросы: - анализ структуры и алгоритма управления моментом и скоростью вращения синхронного двигателя с постоянными магнитами; - принцип регулирования проекций тока статора и ослабления поля возбуждения для двух типов синхронных машин с постоянными магнитами: с внутренним и внешним ротором.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Основы работы с Matlab Рассматриваемые вопросы: - простейшие операторы; - функции Matlab.
2	Графические операторы. Рассматриваемые вопросы: - двумерная и трехмерная графика; - построение графиков по заданиям.
3	Аппроксимация и интерполяция Рассматриваемые вопросы: - сплайн-аппроксимация; - примеры построения функций с использованием сплайн-методов; - метод Монте-Карло.
4	Преобразование Фурье. Рассматриваемые вопросы: - примеры разложения функций; - спектральный анализ.
5	Simulink Рассматриваемые вопросы: - общий принцип построения моделей; - настройка моделирования; - библиотека модулей.
6	Simscape. Рассматриваемые вопросы: - техника моделирования на основе физических принципов; - модель одномассовой механической системы на примере подвески автомобиля.
7	Построение передаточных функций на основе дифференциальных уравнений. Рассматриваемые вопросы: - полюса и нули передаточной функции; - пакет Control System Toolbox.
8	Анализ передаточных функций в пакете Control System Toolbox Рассматриваемые вопросы: - амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики; - диаграмма Боде.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Подготовка к лабораторным работам.
2	Работа с лекционным материалом
3	Выполнение курсовой работы.
4	Подготовка к промежуточной аттестации.
5	Подготовка к текущему контролю.

4.4. Примерный перечень тем курсовых работ

Разработка замкнутой системы управления двигателем постоянного тока с заданными динамическими характеристиками

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Герман-Галкин, С. Г. Модельное проектирование мехатронных модулей SimInTech / С. Г. Герман-Галкин, Б. А. Карташов, С. Н. Литвинов ; под общей редакцией А. Н. Петухова. — Москва : ДМК Пресс, 2021. — 494 с. — ISBN 978-5-97060-693-3. — Текст : электронный	Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/190723 (дата обращения: 07.11.2022).
2	Электрические машины железнодорожного транспорта В.А. Винокуров, Д.А. Попов Однотомное издание Транспорт , 1986	НТБ (уч.3); НТБ (уч.4); НТБ (уч.6); НТБ (фб.)
3	Калачёв, Ю. Н. SimInTech: моделирование в электроприводе / Ю. Н. Калачёв. — Москва : ДМК Пресс, 2019. — 98 с. — ISBN 978-5-97060-766-4. — Текст : электронный	Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/123713 (дата обращения: 07.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Информационный портал Экспонента (<https://exponenta.ru/>);

научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru)

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru>)

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Требуется лицензионное программное обеспечение MATLAB 2020 с полны комплект приложений Simulink, Simscape, а также полный комплект MicrosoftOffice (Word, Excel, PowerPoint, Visio, MSProject)

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Лабораторные стенды по исследованию систем электроприводов постоянного и переменного тока

9. Форма промежуточной аттестации:

Курсовая работа в 7, 8 семестрах.

Экзамен в 6, 7, 8 семестрах.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

доцент, доцент, к.н. кафедры
«Электропоезда и локомотивы»

А.Н. Фиронов

Согласовано:

Заведующий кафедрой ЭиЛ
Председатель учебно-методической
комиссии

О.Е. Пудовиков

С.В. Володин