МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ)

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Системы управления и электронная преобразовательная техника подвижного состава ВСМ

Специальность: 23.05.03 Подвижной состав железных дорог

Специализация: Инжиниринг подвижного состава высокоскоростных железнодорожных магистралей

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 ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)
ID подписи: 87617
Подписал: руководитель образовательной программы
Назаров Дмитрий Валерьевич
Дата: 16.11.2026

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью освоения учебной дисциплины "Системы управления и электронная преобразовательная техника подвижного состава ВСМ" является:

- ознакомление студентов с основами устройства и принципом работы электронной и преобразовательной техники.

Задачами освоения учебной дисциплины "Системы управления и электронная преобразовательная техника подвижного состава ВСМ" являются:

- получение студентами основ профессиональных знаний по физике полупроводников;
- освоение принципа действия и характеристик полупроводниковых приборов силовой и информационной электроники;
- освоение электронных преобразователей электрической энергии.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

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

ПК-9 - Способен выполнять обоснование параметров конструкции и систем подвижного состава ВСМ.

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

Знать:

параметры и характеристики приборов и устройств силовой и информационной электроники

Уметь:

использовать полученные знания при исследовании, создании и эксплуатации систем управления электрическим подвижным составом на основе электронных преобразователей электроэнергии

Владеть:

навыками и умениями использовать приобретенные знания при разработке и эксплуатации электроподвижного состава с электронными преобразователями электроэнергии

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 6 з.е. (216 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		
		№7	№8	№9
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	80	32	32	16
В том числе:				
Занятия лекционного типа	48	16	16	16
Занятия семинарского типа	32	16	16	0

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 136 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	Полупроводники и полупроводниковые материалы. Электронно-дырочный переход и его характеристики. Рассматриваемые вопросы: - основные свойства чистых и примесных полупроводников; - электропроводность чистых и примесных полупроводников; - дрейфовый и диффузионный токи в полупроводнике;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- подвижность носителей и ее зависимость от температуры, концентрации примесей, напряженности электрического поля; - зависимость удельного сопротивления примесного полупроводника от температуры; - механизм рекомбинации и время жизни носителей; - закон убывания концентрации носителей за счет рекомбинации. Рассматриваемые вопросы: - явления, возникающие в контакте металл - полупроводник и полупроводник - полупроводник разных типов проводимости; - зонная диаграмма p-n перехода. Анализ p-n перехода в равновесном и неравновесном состояниях; - вывод уравнения вольтамперной характеристики (ВАХ) p-n перехода; - отличия ВАХ реального диода от ВАХ p-n перехода; - виды пробоя p-n перехода; - температурные зависимости ВАХ p-n перехода.
2	Полупроводниковые диоды. Нагревание и охлаждение полупроводниковых приборов. Рассматриваемые вопросы: - вольтамперная характеристика диода; - эквивалентные схемы диода при прямом и обратном смещениях; - анализ переходных процессов в диоде; - разновидности диодов (стабилитроны, диоды Шотки, туннельные диоды, лавинные диоды); - основные конструкции и технологические приемы изготовления диодов; - процессы включения и выключения диода; - мощность потерь в диодах; - взаимосвязь основных параметров силовых диодов. Рассматриваемые вопросы: - процессы нагревания и охлаждения полупроводниковых приборов; - тепловая модель; - тепловые характеристики диодов, их охлаждение, расчет систем охлаждения.
3	Биполярные транзисторы. Полевые транзисторы. Рассматрвиаеимые вопросы: - устройство биполярного транзистора и основные соотношения между токами его электродов; - анализ процессов в транзисторе (характер движения носителей, влияние электрического поля на это движение, распределение концентрации не основных носителей, анализ коэффициента передачи тока эмиттера от режима); - уравнения Эберса-Молла идеализированного транзистора; - характеристики транзистора при включении по схеме с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором; - параметры и эквивалентные схемы транзистора как четырехполюсника. - устройство, принцип действия, вольтамперные характеристики и эквивалентные схемы полевых транзисторов с управляющим p-n переходом; - МОП-транзисторы, выполненные на основе "металл-оксид-полупроводник.
4	Биполярные транзисторы с изолированным затвором (JGBT). Рассматриваемые вопросы: - устройство, принцип действия, вольтамперные характеристики и эквивалентные схемы JGBT-транзисторов; - статические и динамические характеристики транзисторов; - силовые модули на JGBT-транзисторах.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
5	Транзисторные усилители. Транзисторные ключи. Импульсные схемы на транзисторах. Рассматриваемые вопросы: - принцип работы транзисторного усилителя; - статический режим работы усилительного каскада; - выбор рабочей точки, расчет каскада по постоянному току; - усилители с емкостной связью; - обратная связь в усилителях; - температурная стабилизация в транзисторном усилителе; - усилители постоянного тока; - эмиттерные повторители; - каскад с эмиттерной связью (дифференциальный усилитель). - статические характеристики транзисторных ключей (режим отсечки, режим насыщения); - динамические режимы работы транзисторного ключа; - импульсные схемы на транзисторах: генераторы, усилители импульсов, мультивибраторы, триггеры; - процессы включения и выключения силового ключа; - цепи формирования траектории рабочей точки транзисторного ключа; - расчет параметров снабберных цепей.
6	Тиристоры. Групповое соединение силовых полупроводниковых приборов. Рассматриваемые вопросы: - физические процессы в 4х-слойной структуре; - вольтамперная характеристика тиристора; - переходные процессы включения и выключения одно-операционных тиристоров малой и большой мощности; - классификационные параметры тиристоров; - запираемые по управляющему электроду тиристоры (GTO-тиристоры, IGCT-тиристоры). Рассматриваемые вопросы: - последовательное и параллельное соединение полупроводниковых приборов; - распределение токов и напряжений между приборами4 - определение параметров делителей тока и напряжения; - защита полупроводниковых приборов от сверхтоков и перенапряжений.
7	Интегральные микросхемы (ИМС). Устройства информационной электроники. Рассматриваемые вопросы: - принцип создания и основные элементы ИМС; - аналоговые ИМС4 - дифференциальные и операционные (ОУ) усилители; - свойства идеального операционного усилителя; - реальный операционный усилитель, корректирующие цепи и их назначение; - основные схемы включения операционного усилителя; - использование операционного усилителя для реализации математических функций: суммирования, интегрирования, дифференцирования и др.
8	Цифровые интегральные микросхемы. Рассматриваемые вопросы: - основы теории цифровых систем; - логические переменные и основные законы алгебры логики; - логические функции двух аргументов; - способы описания логических функций; - составление и минимизация логических уравнений;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- построение комбинационных логических схем на типовых элементах; - типовые комбинационные преобразователи логических сигналов: дешифраторы, сумматоры, мультиплексоры; - комбинационные логические устройства; - логические устройства с памятью; - триггеры и триггерные устройства. Триггеры RS, JK, Д, Т - типов. Типовые устройства с памятью: счетчики, регистры; - аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Способы аналого-цифрового преобразования (АЦП). Структурные схемы ЦАП и АЦП; - бБольшие ИМС. Микропроцессорные наборы. Принципы создания и организации работы микропроцессорных систем.
9	Полупроводниковые преобразователи параметров электрической энергии. Полупроводниковые выпрямители. Рассматриваемые вопросы: - классификация полупроводниковых преобразователей параметров электрической энергии. Преобразователи параметров напряжения, тока, частоты; - выпрямители, инверторы, импульсные прерыватели, непосредственные преобразователи частоты, циклоконвертеры. Обратимость полупроводниковых преобразователей. Рассматриваемые вопросы: - нулевой, мостовой выпрямители; - основные соотношения: среднее значение выпрямленного напряжения, средние значения токов полупроводниковых приборов, напряжение на полупроводниковых приборах, мощность трансформатора.
10	Мостовая схема выпрямления. Рассматриваемые вопросы: - регулирование напряжения на выходе выпрямителя; - основные соотношения: среднее значение выпрямленного напряжения, средние значения токов полупроводниковых приборов, напряжение на полупроводниковых приборах, мощность трансформатора; - регулировочная характеристика; - действующее значение тока трансформатора; - коэффициент мощности выпрямителя; - влияние алгоритма управления тиристорами выпрямителя на регулировочную характеристику, действующее значение тока трансформатора и коэффициент мощности выпрямителя.
11	Процессы коммутации в выпрямителях. Рассматриваемые вопросы: - процессы коммутации в выпрямителях. Уравнение коммутации; - зависимость угла коммутации от угла регулирования; - внешняя характеристика выпрямителя; - влияние активных сопротивлений на внешнюю характеристику выпрямителя; - энергетические показатели выпрямителей; - влияние углов регулирования и коммутации на коэффициент мощности выпрямителя.
12	Повышение энергетической эффективности выпрямителей. Рассматриваемые вопросы: - зонно-фазовое регулирование напряжения; - двухзонные выпрямители; - основные соотношения: среднее значение выпрямленного напряжения на первой и второй зонах регулирования; - влияние углов регулирования и коммутации на коэффициент мощности выпрямителя; - коэффициент мощности выпрямителя на первой и второй зонах регулирования;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- выпрямители с принудительной коммутацией полупроводниковых приборов; - влияние углов включения и выключения на регулировочную характеристику выпрямителя; - влияние углов включения и выключения на коэффициент мощности выпрямителя.
13	Инвертирования постоянного тока. Пульсации выпрямленного напряжения и тока. Рассматрвиаемые вопросы: - ведомые сетью инверторы. Условия обеспечения процесса инвертирования; - процессы коммутации в ведомых сетью инверторах; - углы прегулирования, опережения, коммутации и запаса; - внешняя характеристика ведомого сетью инвертора при различных законах регулирования: а) постоянство угла регулирования и б) постоянство угла запаса; - устойчивость процесса коммутации на электровозах переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями на примере электровоза 2ЭС5К. Рассматриваемые вопросы: - пульсации выпрямленного напряжения и тока; - спектральный состав выпрямленного напряжения; - влияние угла регулирования на амплитуды гармоник выпрямленного напряжения; - сглаживание пульсаций выпрямленного тока; - сглаживающие реакторы и определение индуктивности сглаживающего реактора.
14	Непосредственные преобразователи частоты. Системы управления полупроводниковыми преобразователями. Рассматриваемые вопросы: - преобразование переменного m-фазного напряжения частотой f в m1-фазное напряжение частотой f1; - условия обеспечения такого преобразования, соотношения между числом фаз на входе и выходе преобразователя и частотами на входе и выходе; - пример однофазно-трехфазного преобразователя для питания вспомогательных двигателей электровозов переменного тока. Рассматриваемые вопросы: - системы управления полупроводниковыми преобразователями; - требования к системе управления выпрямителем; - функциональная схема системы управления выпрямителем.
15	Узел синхронизации с сетью. Узел фазового управления при аналоговом способе обработки информации. Рассматриваемые вопросы: - требования к узлу синхронизации системы управления выпрямителем с сетью и сложность его работы; - использование разложения кривой питающего напряжения в ряд Фурье для обеспечения помехоустойчивости синхронизатора с сетью. Рассматриваемые вопросы: - функциональная схема узла фазового управления выпрямителем; - принципиальная схема узла фазового управления выпрямителем при аналоговом способе обработки информации; - аналоговый генератор пилообразного напряжения; - выбор параметров интегратора; - аналоговый компаратор узла фазового управления выпрямителем.
16	Узел фазового управления при цифровом способе обработки информации. Узел распределения импульсов управления тиристорами выпрямителя. Рассматриваемые вопросы:

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- функциональная схема узла фазового управления выпрямителем; - принципиальная схема узла фазового управления выпрямителем при цифровом способе обработки информации; - цифровой генератор пилообразного напряжения; - выбор параметров генератора тактовых импульсов; - цифровой компаратор узла фазового управления выпрямителем; - использование сумматора для сравнения двух двоичных кодов. Рассматриваемые вопросы: - узел распределения импульсов управления тиристорами выпрямителя; - синтез узла распределения импульсов на логических элементах; - узел формирования импульсов управления тиристорами; - схема узла формирования импульсов управления тиристорами и ее работа
17	Импульсный прерыватель постоянного напряжения. Импульсный прерыватель постоянного тока. Рассматриваемые вопросы: - схема, принцип работы, способы регулирования напряжения; - внешняя и регулировочная характеристики импульсного прерывателя постоянного напряжения с учетом сопротивления источника питания. Рассматриваемые вопросы: - схема, принцип работы, способы регулирования напряжения; - внешняя и регулировочная характеристики импульсного прерывателя постоянного тока с учетом сопротивления источника питания.
18	Схемы полупроводниковых ключей импульсных прерывателей постоянного напряжения и тока. Пульсации токов и напряжений при импульсном регулировании постоянного напряжения и тока. Рассматриваемые вопросы: - однооперационные, двухоперационные и трехоперационные ключи с принудительной конденсаторной коммутацией; - принцип работы ключей; - транзисторный полупроводниковый ключ; - электромагнитные процессы, расчет параметров элементов ключа. Рассматриваемые вопросы: - сглаживание пульсаций выходного тока импульсного прерывателя постоянного напряжения, расчет параметров выходного фильтра; - сглаживание пульсаций входного тока импульсного прерывателя постоянного напряжения, расчет параметров входного фильтра.
19	Автономные инверторы тока. Трехфазный автономный инвертор тока с отсекающими диодами. Рассматриваемые вопросы: - принцип работы однофазного автономного инвертора тока, основные соотношения; - особенности полупроводниковых ключей инверторов тока; - параллельный инвертор тока; - принцип работы, основные соотношения; - однофазный автономный инвертор тока с отсекающими диодами, принцип работы, основные соотношения. Рассматриваемые вопросы: - принцип работы принцип работы;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- использование инвертора для питания асинхронных двигателей, основные соотношения; - электромагнитные процессы коммутации в трехфазном автономном инверторе тока с отсекающими диодами.
20	Автономные инверторы напряжения. Трехфазный автономный инвертор напряжения. Рассматриваемые вопросы: - принцип работы однофазного мостового инвертора напряжения, основные соотношения; - особенности полупроводниковых ключей инверторов напряжения; - принцип работы однофазного полумостового инвертора напряжения, основные соотношения. Рассматриваемые вопросы: - принцип работы, основные соотношения; - регулирование напряжения в автономных инверторах; - широтно-импульсная модуляция в однофазном инверторе напряжения; - принцип работы и основные соотношения; - использование инверторов напряжения для частотного регулирования асинхронных тяговых двигателей.

4.2. Занятия семинарского типа.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Принцип действия диода - Физические процессы в p-n-переходе: образование запирающего слоя, диффузия и дрейф носителей. - Прямое и обратное включение диода. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального и реального диода. - Влияние температуры на прямую и обратную ветви ВАХ. - Дифференциальное сопротивление диода, сопротивление по постоянному току. - Построение нагрузочной прямой и определение рабочей точки графоаналитическим методом. - Расчет мощности потерь в диоде (прямые, обратные, коммутационные). - Определение параметров диода по справочным данным и экспериментальным характеристикам. - Схемотехническое моделирование диода.
2	Групповое соединение диода - Последовательное соединение диодов: неравномерность распределения обратного напряжения, причины разброса. - Расчет шунтирующих (выравнивающих) резисторов для последовательной цепи. - Параллельное соединение диодов: неравномерность распределения прямого тока. - Расчет токовыравнивающих резисторов при параллельном включении. - Влияние температуры на распределение токов и напряжений в групповом соединении. - Оценка надежности группового соединения, резервирование. - Тепловой расчет группового соединения: выбор охладителей с учетом неравномерности потерь. - Практическое задание: расчет делителей напряжения и тока для заданной конфигурации.
3	Принцип действия транзистора - Биполярный транзистор входные и выходные ВАХ в схемах с ОБ, ОЭ, ОК. - Определение h-параметров БТ по статическим характеристикам. - Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом: сток-затворные и сток-истоковые характеристики. - МОП-транзистор: характеристики передачи и выходные.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	- Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT): передаточная характеристика, выходные ВАХ, область безопасной работы (ОБР). - Расчет рабочей точки усилительного каскада по постоянному току. - Температурная стабилизация рабочей точки. - Сравнительный анализ характеристик БТ, MOSFET и IGBT для применения в преобразователях подвижного состава. Расчет и построение характеристик транзисторов.
4	Принцип действия тиристоров - ВАХ тиристора: участки прямого и обратного запирания, прямое падение напряжения. - Условия включения (по управляющему электроду, по напряжению) и выключения (естественная коммутация, принудительная). - Динамические процессы включения и выключения: времена задержки, нарастания, рассасывания. - Запираемые тиристоры (GTO, IGCT): особенности ВАХ и управления. - Расчет цепи управления: ток и напряжение управления, длительность импульса. - Тепловой расчет тиристора: тепловое сопротивление переход–корпус–среда. - Построение нагрузочных характеристик тиристорного ключа.
5	Импульсные преобразователи постоянного напряжения - Базовые схемы: понижающий, повышающий, инвертирующий. - Регулировочная характеристика: зависимость выходного напряжения от коэффициента заполнения. - Расчет пульсаций тока дросселя и напряжения на конденсаторе. - Выбор параметров реактивных элементов (L, C) и силового ключа. - Внешняя характеристика с учетом сопротивления источника питания и активных потерь. - Энергетические показатели: КПД, коэффициент мощности. - Схемы замещения и моделирование переходных процессов. - Расчет снабберных цепей для силового ключа.Расчет и построение характеристик импульсных преобразователей постоянного напряжения.
6	Автономный инвертор напряжения - Однофазный мостовой инвертор напряжения: принцип работы, диаграммы токов и напряжений. - Однофазный полумостовой инвертор. - Трехфазный инвертор напряжения (схема Ларионова): 180- и 120-градусная коммутация. - Широтно-импульсная модуляция (ШИМ): однополярная, двухполярная, синусоидальная ШИМ. - Гармонический состав выходного напряжения и тока, коэффициент искажения синусоидальности. - Расчет выходного фильтра (LC-фильтр). - Регулирование напряжения и частоты при питании асинхронного тягового двигателя. - Сопоставление характеристик инвертора напряжения и инвертора тока для тягового привода.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Работа с литературой
2	Подготовка к промежуточной аттестации.
3	Подготовка к текущему контролю.

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

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Онищенко, Г. Б. Силовая электроника. Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения : учебное пособие / Г.Б. Онищенко, О.М. Соснин. — Москва : ИНФРА-М, 2025. — 122 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-018517-0. - Текст : электронный	https://znanium.ru/catalog/product/2157002 (дата обращения: 03.12.2025). – Режим доступа: по подписке.
2	Петушков, М. Ю. Основы преобразовательной техники : учебник для вузов / М. Ю. Петушков	https://urait.ru/bcode/567768

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

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

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» (http://e.lanbook.com/);

Электронно-библиотечная система «ZNANIUM.COM» (http://www.znanium.com/);

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

Система автоматизированного проектирования Autocad; Система автоматизированного проектирования Компас; специализированная программа Mathcad.

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

Учебные аудитории для проведения занятий, оснащенные компьютерной техникой и наборами демонстрационного оборудования.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 7, 8, 9 семестрах.

10. Оценочные материалы.

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

Авторы:

Ю.М. Иньков

доцент, доцент, к.н. кафедры
««Тяговый подвижной состав
железных дорог» » Института
железнодорожного транспорта В.В. Литовченко

Согласовано:

Директор О.Н. Покусаев

Руководитель образовательной
программы Д.В. Назаров

Председатель учебно-методической
комиссии Д.В. Паринов