

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электротехнические, электромеханические и электронные системы автономных объектов

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕКТРОННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.01
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	1 семестр - 4; 2 семестр - 4; всего - 8
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	288 часа
<b>Лекции</b>	1 семестр - 32 часа; 2 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
<b>Практические занятия</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Лабораторные работы</b>	2 семестр - 32 часа;
<b>Консультации</b>	1 семестр - 2 часа; 2 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
<b>Самостоятельная работа</b>	1 семестр - 109,5 часов; 2 семестр - 77,5 часа; всего - 187,0 часа
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Домашнее задание Реферат	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
Экзамен	1 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

**Москва 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мыцык Г.С.
	Идентификатор	Rf7468670-MytsykGS-baadae29

(подпись)


Г.С. Мыцык

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Румянцев М.Ю.
	Идентификатор	R4b7b75d7-RumyantsevMY-eafe30f

(подпись)


М.Ю.

Румянцев

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Румянцев М.Ю.
	Идентификатор	R4b7b75d7-RumyantsevMY-eafe30f

(подпись)

М.Ю.

Румянцев

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** освоение процедур анализа и структурно-алгоритмического синтеза преобразующих электронных (ПЭ) и генерирующих машинно-электронных систем (МЭГС) для автономных объектов (АО) – как базового условия системного их проектирования (СП). Дисциплина по своему замыслу является инновационной, системно образующей и ориентирована на подготовку специалистов – разработчиков новой техники

### Задачи дисциплины

- изучение предметного содержания системного проектирования (СП) преобразующих и генерирующих электротехнических комплексов (ЭТК) для АО – магистрального направления их совершенствования и развития по критериям энерго-и ресурсосбережения (в направлении конкурентоспособности);
- освоение навыков самостоятельного решения электротехнических задач на основе предварительного детального изучения основных закономерностей физических процессов в специально разработанных для этой цели серии базовых задачах;
- закрепление и расширение ранее приобретенных навыков имитационного компьютерного моделирования (ИКМ) путем решения про-ектных типовых и новых, не стандартных задач по разработке и проектированию узлов ЭТК и ЭТК в целом;
- приобретение навыков научных исследований и самоконтроля полученных результатов на адекватность (в частности, овладение критерием энергетического баланса) при самостоятельных исследованиях и решении электротехнических задач;
- изучение основных тенденций развития автономных преобразующих и генерирующих ЭТК для реализации их в практической деятельности;
- познакомить с принципами и подходами к синтезу и анализу новых более совершенных технических решений в областях электронных преобразователей (ЭП) и машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС);
- освоение способов самообразования путем постоянного отслеживания процесса развития данной области электротехники по общедоступным периодическим источникам информации;
- приобретение навыков оформления результатов инженерной деятельности.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен выбирать оптимальные из известных и проектировать новые технические решения в области профессиональной деятельности в рамках сформулированной задачи, составлять и оформлять техническую документацию	ИД-бПК-1 Умеет анализировать современное состояние электрооборудования автономных объектов и прогнозировать пути реализации перспективных технических решений	знать: - тенденции развития ОП; - принципы сопряжения УСЭ с электрическими генераторами в рамках решения задач системного проектирования МЭГС; - принципы и способы совершенствования УСЭ и МЭГС в направлении их проектирования по критериям энерго-и ресурсосбережения; - содержание и задачи системного проектирования (СП);  уметь: - при самостоятельных исследованиях осуществлять самоконтроль результатов, полученных на основе ИКМ;

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать рациональные методы для решения поставленных проектных задач;</li> <li>- формулировать задачи системного проектирования;</li> <li>- отслеживать развитие области техники на основе работы с источниками периодической информации (включая реферативные журналы).</li> </ul>
<p>ПК-1 Способен выбирать оптимальные из известных и проектировать новые технические решения в области профессиональной деятельности в рамках сформулированной задачи, составлять и оформлять техническую документацию</p>	<p>ИД-7ПК-1 Умеет выбирать оптимальные технические решения для организации и технологии производства электрооборудования автономных объектов</p>	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- показатели качеств электроэнергии;</li> <li>- современные возможности моделирования и способы исследования процессов в УСЭ и МЭГС на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ);</li> <li>- функциональные характеристики, принципы работы и расчёта устройств силовой электроники (УСЭ), применяемых в основных классах машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС) АО;</li> <li>- основные этапы, средства и методы проектирования ПО;</li> <li>- области применения проектируемых объектов (ОП), предъявляемые к ним требования и условия эксплуатации.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить сопоставительную оценку альтернативных вариантов решений по заданным критериям;</li> <li>- решать системные задачи на основе ИКМ;</li> <li>- применять принципы системного проектирования;</li> <li>- самостоятельно анализировать новые решения.</li> </ul>
<p>ПК-2 Способен формулировать цели и задачи исследования объектов профессиональной деятельности, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты исследования</p>	<p>ИД-2ПК-2 Владеет методами анализа и синтеза электронных энергетических систем</p>	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современн�ный уровень развития УСЭ и МЭГС.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать задачи, необходимые и достаточные для наиболее полного достижения поставленной цели (исследования и системного проектирования объекта в рамках</li> </ul>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		имеющихся ресурсов и ограничений); - решать задачи синтеза структурно-алгоритмического облика проектируемого объекта (ПО); - использовать ранее приобретённые в базовых курсах знания для модельного описания процессов в исследуемых объектах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электротехнические, электромеханические и электронные системы автономных объектов (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Выпрямление переменного тока	108	1	32	-	-	-	-	-	-	-	76	-	<p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Изучение дополнительного материала по разделу "Выпрямление переменного тока"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 31-169 [2], 45-93</p>	
1.1	Предметное содержание дисциплины ЭЭС	7		2	-	-	-	-	-	-	-	-	5		-
1.2	Особенности проектирования современных генерирующих электротехнических комплексов автономных объектов	12		2	-	-	-	-	-	-	-	-	10		-
1.3	Основы синтеза, анализа и расчета трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) и автотрансформаторно-выпрямительных устройств (АТВУ) с использованием принципа многоканального преобразования энергетического потока	21		8	-	-	-	-	-	-	-	-	13		-
1.4	Освоение базовых задач на основе	21		6	-	-	-	-	-	-	-	-	15		-

	использования возможностей имитационного компьютерного моделирования													
1.5	Машинно-электронные генерирующие системы – МЭГС-1 («Вентильные генераторы»), и МЭГС-2 (системы класса ПСПЧ – переменная скорость – постоянная частота) (вопросы синтеза, анализа, расчетов)	24		8	-	-	-	-	-	-	-	16	-	
1.6	Преобразователи классов АС/АС. Энергетический баланс – как критерий самоконтроля результатов исследований	23		6	-	-	-	-	-	-	-	17	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	-	-	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>76</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	-	-	<b>2</b>		-		<b>0.5</b>	<b>109.5</b>		
2	Инvertирование постоянного напряжения	105.8	2	32	32	-	-	-	-	-	-	41.8	-	<p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Изучение дополнительного материала по разделу "Инvertирование постоянного напряжения"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 173-274 [2], 95-199</p>
2.1	Современные способы инvertирование и конвертирование напряжения постоянного тока	11		4	4	-	-	-	-	-	-	3	-	
2.2	Способы импульсно-модуляционного преобразования энергетического	13		4	4	-	-	-	-	-	-	5	-	

	потока												
2.3	Использование гармонического анализа при модельном описании процессов в инверторах	11	4	4	-	-	-	-	-	-	3	-	
2.4	Трехфазный инвертор, алгоритмы управления и анализ процессов в нем	13	4	4	-	-	-	-	-	-	5	-	
2.5	Использование принципа многоканального преобразования (МКП) энергетического потока для синтеза ОИН и ТИН с улучшенными показателями качества	14	4	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
2.6	Использование при синтезе ОИН и ТИН ресурсосберегающего принципа ПВЧП	13	4	4	-	-	-	-	-	-	5	-	
2.7	Функциональные свойства ОИН и ТИН как 4-х квадрантного преобразователя	15.8	4	4	-	-	-	-	-	-	7.8	-	
2.8	Содержание идеального системного проектирования на примере МЭГС-2	15	4	4	-	-	-	-	-	-	7	-	
	Экзамен	38.2	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	35.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>41.8</b>	<b>35.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>77.5</b>		
	<b>ИТОГО</b>	<b>288.0</b>	<b>-</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.0</b>	<b>187.0</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Выпрямление переменного тока

#### 1.1. Предметное содержание дисциплины ЭЭС

Формулируются особенности дисциплины, как системно образующего курса, ориентированного на изучение содержания и особенностей системного проектирования (СП). Приводятся примеры электронных преобразователей (ЭП) и машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС) – двух тесно взаимосвязанных между собой областей техники. Кратко формулируются закономерности развития технических систем: понятия «жизненный цикл», «смена поколений техники», «изобретение», «конкурентоспособность». Определяются цель, содержание и особенности идеального СП (ИСП), а также раскрывается современное предметное содержание основных его этапов: 1) структурно-алгоритмический синтез (САС) и структурно-алгоритмическая оптимизация (САОп); 2) параметрическая оптимизация; 3) конструкторско-технологическая оптимизация; 4) показатели качества электроэнергетики.

#### 1.2. Особенности проектирования современных генерирующих электротехнических комплексов автономных объектов

Приводится перечень требований, критериев проектирования, предъявляемых к автономным ЭП и МЭГС на их основе, а также условия применения (в том числе охлаждения) и уровень электромагнитных нагрузок в их узлах. Электроэнергетическая совместимость (ЭЭС) и электромагнитная совместимость (ЭМС) – как интегральные показатели степени совершенства ЭП и МЭГС и указатели направления их совершенствования и развития. На конкретных примерах даются определения основных количественных показателей ЭЭС и ЭМС: входного коэффициента мощности, коэффициента гармоник (нелинейных искажений), крест-фактора. Отмечаются условия и факторы, необходимые для развития этих электротехнических комплексов. Сущность и достоинства принципа многоканального преобразования (МКП) – как универсального направления совершенствования техники и повышения мощности ЭП и МЭГС. Возможности улучшения массогабаритных показателей резервных АСЭС: 1) за счет использования принципа промежуточного высокочастотного преобразования (ПВЧП); 2) за счет ИСП.

#### 1.3. Основы синтеза, анализа и расчета трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) и автотрансформаторно-выпрямительных устройств (АТВУ) с использованием принципа многоканального преобразования энергетического потока

Области применения ТВУ и АТВУ. Классификация, основанная на использовании обобщающего принципа МКП. Приемы синтеза, анализа ТВУ, АТВУ и сопоставительная оценка их альтернативных вариантов на основе использования понятий габаритная (расчетная) мощность трансформаторов и электромагнитная совместимость (ЭМС). В нарастающем по сложности порядке рассматривается серия решений ТВУ и АТВУ (пассивного типа), ряд из которых разработан на кафедре ЭКАО и ЭТ, запатентован и частично опубликован в [1] и в журналах «Электричество» (2013, №1, №12). Основное внимание уделяется обучению навыкам самостоятельного синтеза и анализа физических процессов в ТВУ и АТВУ. Задачи решаются аналитическим путем и на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ).

#### 1.4. Освоение базовых задач на основе использования возможностей имитационного компьютерного моделирования

С целью формирования основ электротехнического «мировоззрения» сформирован перечень специально подобранных базовых (показательных) задач для самостоятельного решения, в которых требуется применить знания, ранее полученные в базовых дисциплинах

(в ТОЭ, в частности). Детальное, глубокое изучение физики процессов в простых базовых устройствах создает основу для понимания и закрепления в памяти обучающегося основных закономерностей и способствует применению этих знаний при анализе более сложных устройств и систем. Для примера здесь рассматриваются лишь 4 простейшие электрические цепи, которые являются типовыми узлами в практических схемах. 1) Первая цепь из последовательно включенных элементов VD1 (диод), L, R; 2) Вторая цепь аналогична первой, с той разницей, что RL нагрузка шунтируется обратным диодом VD2. Обе эти цепи подключаются к переменному напряжению. 3) Третья цепь содержит 3 последовательно включенных элемента: L, R, C. 4) Четвертая цепь содержит 4 последовательно включенных элемента: VD, L, R, C. Две последние цепи подключаются к источнику постоянного напряжения. Задача исследования: определить характер процессов (напряжений и токов) на всех элементах после подключения их к источникам напряжения. Во всех 4-х вариантах ответы не очевидны – требуются исследования. Задачи решаются аналитическим путем и на основе ИКМ.

1.5. Машинно-электронные генерирующие системы – МЭГС-1 («Вентильные генераторы»), и МЭГС-2 (системы класса ПСПЧ – переменная скорость – постоянная частота) (вопросы синтеза, анализа, расчетов)

Полученные в разделе 3 знания (принципы синтеза и анализа) распространяются на генерирующие системы МЭГС-1, МЭГС-2, ранее известные как «Вентильные генераторы» и как системы ПСПЧ. Наряду с традиционными и мало известными вариантами рассматривается новый разработанный на кафедре ЭКАО и ЭТ и запатентованные варианты МЭГС-1 с пульсностью выпрямленного напряжения 12 и 18, реализующий принцип МКП. Новым существенным отличием второго варианта является новая топология якорной обмотки – 9 фазная кольцевая её схема и соответственно новые её связи с выпрямительным блоком и транс-фильтрами, а также новые полезные свойства (см. журнал «Электричество» (2014, №2, 2015, №1) Задачи решаются аналитическим путем и на основе ИКМ.

1.6. Преобразователи классов АС/АС. Энергетический баланс – как критерий самоконтроля результатов исследований

Показывается, что преобразователи частоты (ПЧ) непосредственного типа (НПЧ) по своему принципу построения во многом аналогичны реверсивным ТВУ. Рассматриваются основные принципы синтеза регуляторов переменного напряжения (РН) в том числе с вольтодобавочным каналом и с использованием промежуточного высокочастотного преобразования (ПВЧП). Даются примеры системного проектирования МЭГС-1. Излагается сущность энергетического баланса – как критерия для самоконтроля результатов исследований на адекватность. Приводятся примеры его использования.

## 2. Инвертирование постоянного напряжения

2.1. Современные способы инвертирование и конвертирование напряжения постоянного тока

Классифицируются типовые однофазные инверторные схемы (мостовая, полумостовая и нулевая), которые помимо своего прямого назначения (в различных сочетаниях с выпрямительными схемами) используются также и в конверторных схемах. В регулируемом по напряжению варианте рассматриваются особенности физических процессов в схемах (в частности, явление «залипания» регулировочной паузы в напряжении) и их функциональные свойства при работе порознь и конверторных схемах. Детально изучаются средства борьбы с индуктивностями рассеяния первичных обмоток трансформатора в однофазном инверторе напряжения по нулевой схеме. Излагаются особенности построения и работы разработанного для него (на кафедре ЭКАО и ЭТ) и запатентованного решения снабберного устройства.

Акцентируется внимание принципиальной важности детального анализа и понимания физических процессов в схемах, поскольку это является необходимым исходным условием для процедур анализа и синтеза и развертывания на этой основе самостоятельного проектирования как новых, так и традиционных решений.

## 2.2. Способы импульсно-модуляционного преобразования энергетического потока

Систематизируются основные способы импульсно-модуляционного преобразования энергетического потока: широтное регулирование – ШР (частичное ШР – ЧШР), широтно-импульсное регулирование – ШИР (частичное ШИР – ЧШИР), амплитудная модуляция – АМ, амплитудно-импульсная модуляция – АИМ, широтно-импульсная модуляция – ШИМ (по синусоидальному и трапецеидальному законам), двухполярная ШИМ – ДШИМ, однополярная ШИМ – ОШИМ, комбинация АИМ и ШИМ – АШИМ. Приводятся примеры использования способов в практических решениях.

## 2.3. Использование гармонического анализа при модельном описании процессов в инверторах

При модельном описании несинусоидальных величин в инверторах напряжения используется представление их в виде рядов Фурье. При том, что этот математический аппарат ранее изучался обучаемыми в базовых дисциплинах (в курсах «Высшая математика», «ТОЭ»), многолетний опыт показал, что на данном этапе обучения студенты им не владеют. С учетом этого, изучению его на конкретных примерах посвящается одна полная лекция с последующим продолжением обучения по данному разделу в процессе естественного рассмотрения вопросов анализа в разделах, посвященных соответствующим темам, а также в форме домашних заданий.

## 2.4. Трехфазный инвертор, алгоритмы управления и анализ процессов в нем

Структуру трехфазного инвертора напряжения (ТИН) с целью упрощения анализа и взаимо-увязки его с ранее полученными результатами (что способствует усвоению материала) целесообразно рассматривать с позиции (тройного) тиражирования структуры ОИН по полумостовой схеме. Это предполагает наличие в источнике питания средней (нулевой) точки 01 и объединение её с нулевой точкой 02 нагрузки, соединенной по схеме «звезда». При наличии связи 01–02 и простейшем  $\pi$  алгоритме управления ТИН фазные напряжения нагрузки имеют форму «меандр». Исключение связи 01–02 приводит к «эволюции» формы фазных напряжений в «пьедестал». Данный процесс удобно (а с позиции «реанимации» знаний из ТОЭ – даже целесообразно!) рассматривать с использованием понятия «гармоник нулевой последовательности – ГНП». Изучается также простейший алгоритм регулирования напряжения в ТИН и реализующая его система управления, а также ТИН с алгоритмом программной ШИМ (по синусоидальному и трапецеидальному законам). Даются рекомендации по выбору параметров ШИМ (Источник [1]) и по областям целесообразного применения алгоритмов формирования напряжения.

## 2.5. Использование принципа многоканального преобразования (МКП) энергетического потока для синтеза ОИН и ТИН с улучшенными показателями качества

Цель раздела – дать навыки структурно-алгоритмического синтеза ОИН и ТИН повышенной мощности, когда, во-первых, располагаемая элементная база по этому параметру не позволяет реализовать проект в традиционном одноканальном исполнении, а во-вторых, когда по требованиям ЭЭС и ЭМС (или по системным требованиям) приходится решать задачу на основе использования относительно нового принципа многоканального преобразования (МКП) энергетического потока. На конкретных примерах ТИН с МКП изучаются разработанные в последнее время следующие способы его реализации: фазокомпенсационный (ФК) способ, способ вектор-векторного формирования (ВВФ),

комбинированный способ, способ многофазной ШИМ (МШИМ). (Источник [1]). Показано как задачи структурно-алгоритмического и параметрического синтеза целесообразно решать на основе ИКМ. Синтез выходных цепей ОИН и ТИН с МКП реализуются двумя способами – или суммированием напряжений каналов, или суммированием токов каналов. Во 2-ом варианте требуется использование трансфильтров (ТФ). Излагается подход к проектированию ТФ.

#### 2.6. Использование при синтезе ОИН и ТИН ресурсосберегающего принципа ПВЧП

В большинстве типов преобразователей с целью гальванической развязки цепей (входа от выхода) и для согласования уровней напряжения используется операция трансформации напряжения. Реализация этой операции на низкой частоте (50 Гц или даже 400Гц) приводит к значительному (или существенному) ухудшению массогабаритных показателей преобразующего устройства. Значительно ослабить этот недостаток позволяют структуры, реализующие принцип промежуточного высокочастотного преобразования (ПВЧП) Приводятся примеры его использования при синтезе конвертеров, ОИН и ТИН. Дается оценка эффективности использования ПВЧП. Излагаются также физическая суть фильтрация выходного напряжения преобразователей с помощью Г образного LC фильтра и способ упрощенного его расчета. Задачи структурно-алгоритмического и параметрического синтеза решаются на основе – ИКМ.

#### 2.7. Функциональные свойства ОИН и ТИН как 4-х квадрантного преобразователя

Наиболее широко в литературе описаны свойства и характеристики ТИН в режиме его авто-номной работы и в меньшей мере – в режиме работы параллельно с сетью. Между тем еще с конца 60-х годов прошлого века известны другие возможные режимы его работы: обращен-ный (выпрямительный) режим, режимы управляемого компенсатора реактивной мощности и мощности искажений, а также режим управляемого индуктивного сопротивления. ТИН в обращенном режиме известен также как активный выпрямитель. В литературе указанные потенциальные свойства ТИН получили отражение в обобщенном его названии «4-х квадрантный преобразователь – 4К-ТИН (или ЧКП)». В связи с современными достижениями в создании мощных высокочастотных полностью управляемых ключевых элементов – транзисторов возможность использования свойств ЧКП в новых проектах электротехнических комплексов (ЭТК) привлекает все большее внимание разработчиков. Кратко изучаются особенности его управления, а также его свойства и характеристики при использовании его в МЭГС-1 и МЭГС-2.

#### 2.8. Содержание идеального системного проектирования на примере МЭГС-2

В электротехнике (и в авиационной электротехнике, в частности) актуальным продолжает оставаться проблема создания бесконтактной машинно-электронной генерирующей системы типа ПСПЧ (переменная скорость – постоянная частота) – МЭГС-2. Изучается один из воз-можных вариантов, выполненный в виде последовательно включенных МЭГС-1 и ТИН (об-разующих МЭГС-2) с управляющим алгоритмом ШИМ и выходным фильтром. Излагается подход к идеальному системному проектированию МЭГС-2. Средство решения задач – ими-тационное компьютерное моделирование.

### 3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Лабораторная работа №1. Исследование характеристик однофазного двухканального инвертора с ДШИМ напряжения в каналах (и с ОШИМ выходного напряжения) и создание на этой основе информационного базиса для его проектирования;

2. Лабораторная работа №2. Регулируемый по напряжению трёхфазный инвертор напряжения – ТИН-Р;
3. Лабораторная работа №3. Трёхфазный инвертор напряжения с ШИМ по синусоидальному закону;
4. Лабораторная работа №4. Четырёхквadrантный преобразователь;
5. Лабораторная работа №5. Трансформаторно-выпрямительные устройства.

### **3.5 Консультации**

#### *Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)*

1. Обсуждение материалов по темам раздела "Выпрямление переменного тока"
2. Обсуждение материалов по темам раздела "Инвертирование постоянного напряжения"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)		Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	
<b>Знать:</b>				
содержание и задачи системного проектирования (СП);	ИД-6ПК-1		+	Домашнее задание/Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности
принципы и способы совершенствования УСЭ и МЭГС в направлении их проектирования по критериям энерго- и ресурсосбережения	ИД-6ПК-1		+	Реферат/Перспективы развития
принципы сопряжения УСЭ с электрическими генераторами в рамках решения задач системного проектирования МЭГС	ИД-6ПК-1		+	Домашнее задание/Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ)
тенденции развития ОП	ИД-6ПК-1		+	Домашнее задание/Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ)
показатели качеств электроэнергии	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Рассчитать входной коэффициент мощности трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ)
области применения проектируемых объектов (ОП), предъявляемые к ним требования и условия эксплуатации	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники
основные этапы, средства и методы проектирования ПО	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ
функциональные характеристики, принципы работы и расчёта устройств силовой электроники (УСЭ),	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента

применяемых в основных классах машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС) АО				мощности (ККМ).
современные возможности моделирования и способы исследования процессов в УСЭ и МЭГС на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ)	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ
современный уровень развития УСЭ и МЭГС	ИД-2ПК-2		+	Домашнее задание/Расчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом
<b>Уметь:</b>				
отслеживать развитие области техники на основе работы с источниками периодической информации (включая реферативные журналы)	ИД-6ПК-1		+	Домашнее задание/Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ)
формулировать задачи системного проектирования	ИД-6ПК-1	+		Домашнее задание/Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ
выбирать рациональные методы для решения поставленных проектных задач	ИД-6ПК-1	+		Домашнее задание/Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники
при самостоятельных исследованиях осуществлять самоконтроль результатов, полученных на основе ИКМ	ИД-6ПК-1		+	Домашнее задание/Расчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом
самостоятельно анализировать новые решения	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента мощности (ККМ).
применять принципы системного проектирования	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники
решать системные задачи на основе ИКМ	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ
проводить сопоставительную оценку альтернативных вариантов решений по заданным критериям	ИД-7ПК-1	+		Домашнее задание/Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента

				мощности (ККМ).
использовать ранее приобретённые в базовых курсах знания для модельного описания процессов в исследуемых объектах	ИД-2ПК-2		+	Домашнее задание/Рассчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом
решать задачи синтеза структурно-алгоритмического облика проектируемого объекта (ПО)	ИД-2ПК-2		+	Реферат/Перспективы развития Домашнее задание/Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности
формулировать задачи, необходимые и достаточные для наиболее полного достижения поставленной цели (исследования и системного проектирования объекта в рамках имеющихся ресурсов и ограничений)	ИД-2ПК-2		+	Домашнее задание/Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ)

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **1 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента мощности (ККМ). (Домашнее задание)
2. Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники (Домашнее задание)
3. Рассчитать входной коэффициент мощности трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) (Домашнее задание)
4. Расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ (Домашнее задание)
5. Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ (Домашнее задание)

#### **2 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ) (Домашнее задание)
2. Перспективы развития (Реферат)
3. Рассчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом (Домашнее задание)
4. Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности (Домашнее задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

#### Экзамен (Семестр №1)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

#### Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Мыщык Г.С. , Бериллов А.В. , Михеев В.В. - "Поисковое проектирование устройств силовой электроники трансформаторно-полупроводниковые устройства", Издательство:

"Издательский дом МЭИ", Москва, 2010 - (284 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72263](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72263);

2. Попков О.З.- "Основы преобразовательной техники", Издательство: "МЭИ", Москва, 2010 - (200 с.)

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383004029.html>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Orcad.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -

[http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-606, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, доска маркерная, ноутбук, кондиционер, наборы демонстрационного оборудования, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	М-609, Учебная многофункциональная аудитория	стол преподавателя, стол компьютерный, стол учебный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, ноутбук, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-609, Учебная многофункциональная аудитория	стол преподавателя, стол компьютерный, стол учебный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, ноутбук, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	М-606, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, доска маркерная, ноутбук, кондиционер, наборы демонстрационного оборудования, учебно-наглядное пособие

Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-608/1, Аудитория каф. "ЭКАОиЭТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, кондиционер, 3D-принтер
--	-----------------------------------	---

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные энергетические системы

(название дисциплины)

#### 1 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники (Домашнее задание)
- КМ-2 Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ (Домашнее задание)
- КМ-3 Рассчитать входной коэффициент мощности трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) (Домашнее задание)
- КМ-4 Расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ (Домашнее задание)
- КМ-5 Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента мощности (ККМ). (Домашнее задание)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	3	5	7	10	15
1	Выпрямление переменного тока						
1.1	Предметное содержание дисциплины ЭЭС		+		+		
1.2	Особенности проектирования современных генерирующих электротехнических комплексов автономных объектов		+	+	+		+
1.3	Основы синтеза, анализа и расчета трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) и автотрансформаторно-выпрямительных устройств (АТВУ) с использованием принципа многоканального преобразования энергетического потока		+	+			+
1.4	Освоение базовых задач на основе использования возможностей имитационного компьютерного моделирования		+	+		+	+
1.5	Машинно-электронные генерирующие системы – МЭГС-1 («Вентильные генераторы»), и МЭГС-2 (системы класса ПСПЧ – переменная скорость – постоянная частота) (вопросы синтеза, анализа, расчетов)					+	+
1.6	Преобразователи классов АС/АС. Энергетический баланс – как критерий самоконтроля результатов исследований						+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20

## 2 семестр

### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-6 Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ) (Домашнее задание)
- КМ-7 Рассчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом (Домашнее задание)
- КМ-8 Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности (Домашнее задание)
- КМ-9 Перспективы развития (Реферат)

### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
		Неделя КМ:	4	8	12	8
1	Инвертирование постоянного напряжения					
1.1	Современные способы инвертирование и конвертирование напряжения постоянного тока		+	+		
1.2	Способы импульсно-модуляционного преобразования энергетического потока		+		+	+
1.3	Использование гармонического анализа при модельном описании процессов в инверторах				+	+
1.4	Трёхфазный инвертор, алгоритмы управления и анализ процессов в нем		+		+	+
1.5	Использование принципа многоканального преобразования (МКП) энергетического потока для синтеза ОИН и ТИН с улучшенными показателями качества				+	+
1.6	Использование при синтезе ОИН и ТИН ресурсосберегающего принципа ПВЧП			+		+
1.7	Функциональные свойства ОИН и ТИН как 4-х квадрантного преобразователя		+		+	+
1.8	Содержание идеального системного проектирования на примере МЭГС-2		+	+		
Вес КМ, %:			25	25	25	25