

**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**


**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Электронные энергетические системы**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	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)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	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)

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

(подпись)

М.Ю.  
Румянцев

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. 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-6 Умеет анализировать современное состояние электрооборудования автономных объектов и прогнозировать пути реализации перспективных технических решений

ИД-7 Умеет выбирать оптимальные технические решения для организации и технологии производства электрооборудования автономных объектов

2. ПК-2 Способен формулировать цели и задачи исследования объектов профессиональной деятельности, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты исследования

ИД-2 Владеет методами анализа и синтеза электронных энергетических систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента мощности (ККМ). (Домашнее задание)

2. Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ) (Домашнее задание)

3. Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники (Домашнее задание)

4. Перспективы развития (Реферат)

5. Рассчитать входной коэффициент мощности трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) (Домашнее задание)

6. Рассчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом (Домашнее задание)

7. Расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ (Домашнее задание)

8. Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ (Домашнее задание)

9. Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности (Домашнее задание)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5

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

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
	Срок КМ:	4	8	12	16
Инвертирование постоянного напряжения					
Современные способы инвертирование и конвертирование напряжения постоянного тока	+	+			
Способы импульсно-модуляционного преобразования энергетического потока	+			+	+
Использование гармонического анализа при модельном описании процессов в инверторах				+	+
Трехфазный инвертор, алгоритмы управления и анализ процессов в нем	+			+	+
Использование принципа многоканального преобразования (МКП) энергетического потока для синтеза ОИН и ТИН с улучшенными показателями качества				+	+
Использование при синтезе ОИН и ТИН ресурсосберегающего принципа ПВЧП			+		+
Функциональные свойства ОИН и ТИН как 4-х квадрантного преобразователя	+			+	+
Содержание идеального системного проектирования на примере МЭГС-2	+	+			
	Вес КМ:	25	25	25	25

§Общая часть/Для промежуточной аттестации§

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-бПК-1 Умеет анализировать современное состояние электрооборудования автономных объектов и прогнозировать пути реализации перспективных технических решений	Знать: принципы сопряжения УСЭ с электрическими генераторами в рамках решения задач системного проектирования МЭГС содержание и задачи системного проектирования (СП); тенденции развития ОП принципы и способы совершенствования УСЭ и МЭГС в направлении их проектирования по критериям энерго-и ресурсосбережения Уметь: при самостоятельных исследованиях осуществлять самоконтроль результатов, полученных на основе ИКМ отслеживать развитие области техники на основе	Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники (Домашнее задание) Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ (Домашнее задание) Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ) (Домашнее задание) Рассчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом (Домашнее задание) Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности (Домашнее задание) Перспективы развития (Реферат)

		<p>работы с источниками периодической информации (включая реферативные журналы) формулировать задачи системного проектирования выбирать рациональные методы для решения поставленных проектных задач</p>	
ПК-1	<p>ИД-7<sub>ПК-1</sub> Умеет выбирать оптимальные технические решения для организации и технологии производства электрооборудования автономных объектов</p>	<p>Знать:  современные возможности моделирования и способы исследования процессов в УСЭ и МЭГС на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ)  показатели качеств электроэнергии области применения проектируемых объектов (ОП), предъявляемые к ним требования и условия эксплуатации  основные этапы, средства и методы проектирования ПО  функциональные характеристики, принципы работы и расчёта устройств силовой</p>	<p>Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники (Домашнее задание)  Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ (Домашнее задание)  Расчитать входной коэффициент мощности трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) (Домашнее задание)  Расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ (Домашнее задание)  Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента мощности (ККМ). (Домашнее задание)</p>

		<p>электроники (УСЭ), применяемых в основных классах машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС) АО</p> <p>Уметь:  проводить сопоставительную оценку альтернативных вариантов решений по заданным критериям самостоятельно анализировать новые решения применять принципы системного проектирования решать системные задачи на основе ИКМ</p>	
ПК-2	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> <p>Владеет методами анализа и синтеза электронных энергетических систем</p>	<p>Знать:  современный уровень развития УСЭ и МЭГС</p> <p>Уметь:  использовать ранее приобретённые в базовых курсах знания для модельного описания процессов в исследуемых объектах  решать задачи синтеза структурно-алгоритмического облика</p>	<p>Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ) (Домашнее задание)</p> <p>Рассчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом (Домашнее задание)</p> <p>Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности (Домашнее задание)</p> <p>Перспективы развития (Реферат)</p>

		проектируемого объекта (ПО) формулировать задачи, необходимые и достаточные для наиболее полного достижения поставленной цели (исследования и системного проектирования объекта в рамках имеющихся ресурсов и ограничений)	
--	--	--	--



## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### 1 семестр

#### КМ-1. Определение действующего, среднего значений и коэффициента формы типовых сигналов в области силовой преобразовательной техники

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Оформление удобочитаемого отчета с результатами

#### Краткое содержание задания:

Определить действующее и среднее значение напряжения трапецидальной формы

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: области применения проектируемых объектов (ОП), предъявляемые к ним требования и условия эксплуатации	1.Что такое коэффициент формы напряжения?
Уметь: выбирать рациональные методы для решения поставленных проектных задач	1.Как определить коэффициент гармоник напряжения заданной формы?
Уметь: применять принципы системного проектирования	1.Как определить энергетический баланс в заданной схеме? 2.Как определить взаимосвязь постоянной составляющей выпрямленного напряжения со входным напряжением выпрямителя в заданной схеме?

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### КМ-2. Решение специально подобранных базовых задач (не менее 4-х), характеризующих типовые физические процессы в устройствах СПТ

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Оформление удобочитаемого отчета с результатами

**Краткое содержание задания:**

Построить графики переходных процессов в однофазном однополупериодном выпрямителе

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные этапы, средства и методы проектирования ПО	1. От чего зависит форма выходного напряжения в выпрямительных схемах?
Уметь: формулировать задачи системного проектирования	1. Как количественно оценить пульсации выпрямленного напряжения?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-3. Рассчитать входной коэффициент мощности трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ)**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Оформление удобочитаемого отчета с результатами

**Краткое содержание задания:**

Рассчитать входной коэффициент мощности трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) при исходных данных, задаваемых преподавателем

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: показатели качеств электроэнергии	1. Что такое входной коэффициент мощности?
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-4. Расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Оформление удобочитаемого отчета с результатами

**Краткое содержание задания:**

Привести расчёт габаритной мощности трансформатора в двух вариантах ТВУ заданной преподавателем топологии. Результаты сравнить и объяснить

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: современные возможности моделирования и способы исследования процессов в УСЭ и МЭГС на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ)	1.Что такое габаритная мощность трансформатора?
Уметь: решать системные задачи на основе ИКМ	1.Как определить действующее значение тока при заданной его форме?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-5. Исследование характеристик трехфазного ТВУ с корректором коэффициента мощности (ККМ).**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Оформление удобочитаемого отчета с результатами

**Краткое содержание задания:**

Для заданной схемы ТВУ с ККМ при заданных значениях параметров сетевого напряжения и при заданных значениях скважности определить зависимость  $Ud0$  от этого параметра (при остальных с необходимостью заданных остальных значениях параметров схемы ТВУ).

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: функциональные характеристики, принципы работы и расчёта устройств силовой электроники (УСЭ), применяемых в основных классах машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС) АО	1.От чего зависит индуктивность рассеяния обмоток трансформаторов?
Уметь: проводить	1.Как рассчитать входной коэффициент мощности

сопоставительную оценку альтернативных вариантов решений по заданным критериям	выпрямителя?
Уметь: самостоятельно анализировать новые решения	1. Как рассчитать коэффициента гармоник из сети тока?

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

## 2 семестр

### КМ-6. Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ)

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Оформление отчета по указанному заданию

### Краткое содержание задания:

Исследовать особенности работы и функциональные свойства инверторной ячейки по нулевой схеме (НИЯ) в регулируемом на напряжению варианте при работе на нагрузку переменного тока с  $\cos\varphi = \text{var}$  и на выпрямительную нагрузку. Задаётся перечень исследуемых характеристик. Для решения задачи используется имитационное компьютерное моделирование (ИКМ)

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: принципы сопряжения УСЭ с электрическими генераторами в рамках решения задач системного проектирования МЭГС	1. Как происходит инвертирование напряжения в НИЯ?
Знать: тенденции развития ОП	1. Как влияет индуктивность рассеяния обмоток трансформатора на рабочие процессы?
Уметь: отслеживать развитие области техники на основе работы с источниками периодической информации (включая реферативные журналы)	1. Как определить форму тока, потребляемого от источника при выпрямительной нагрузке?
Уметь: формулировать задачи, необходимые и достаточные для наиболее полного достижения поставленной цели	1. Объяснить эффект "залипание" регулировочной паузы выходного напряжения при нагрузке переменного тока $\cos\varphi < 1$ .

(исследования и системного проектирования объекта в рамках имеющихся ресурсов и ограничений)	
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-7. Рассчитать КПД однофазного инвертора, регулируемого широтным способом**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Составление отчета по указанной теме

**Краткое содержание задания:**

Рассчитать КПД однофазного инвертора в линейном и в импульсном режимах работы транзисторов при формировании соответственно синусоидального и квазисинусоидального напряжения. Сравнить два варианта

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: современньй уровень развития УСЭ и МЭГС	1.Что такое мертвое время и когда оно применяется?
Уметь: при самостоятельных исследованиях осуществлять самоконтроль результатов, полученных на основе ИКМ	1.По какому пути замыкается реактивный ток активно-индуктивной нагрузки в моменте регулировочным пауз?
Уметь: использовать ранее приобретённые в базовых курсах знания для модельного описания процессов в исследуемых объектах	1.Как определить падение напряжения на ключевых элементах инверторов?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

## КМ-8. Синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Составление отчета по указанной теме

### Краткое содержание задания:

Используя принцип многоканального преобразования (МКП) синтезировать структурно-алгоритмический облик однофазного инвертора повышенной мощности (порядка 2 МВт) для солнечной энергетики

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: содержание и задачи системного проектирования (СП);	1. Когда целесообразно использовать многоканальные варианты преобразователей?
Уметь: решать задачи синтеза структурно-алгоритмического облика проектируемого объекта (ПО)	1. Как рассчитать параметры трансфильтра, используемого в инверторах с МКП?

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

## КМ-9. Перспективы развития

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Реферат

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Моделирование, анализ, расчет, самоконтроль результатов исследований и вопросы системного проектирования. Оформление реферата по данной теме

### Краткое содержание задания:

по тематике данной дисциплины (или по теме магистерской работы). Преподавателем указываются названия реферативных журналов за определённый отрезок времени, подлежащий изучению перспектив развития

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: принципы и способы совершенствования УСЭ и МЭГС в направлении их проектирования по критериям энерго-и ресурсосбережения	1. Умеете ли Вы кратко формулировать современной силовой преобразовательной техники?
--	--

Уметь: решать задачи синтеза структурно-алгоритмического облика проектируемого объекта (ПО)	1.Какие способы оперативной работы с источниками текущей информации Вы знаете и работаете?
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

<b>НИУ «МЭИ»</b>	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11 Кафедра ЭКАО и ЭТ ГОУВО НИУ «МЭИ»	Утверждаю Зав. кафедрой ЭКАО и ЭТ Профессор М.Ю. Румянцев  _____
		21. 12. 2022 г. Дисциплина: ЭЭС– электронные энергетические системы Институт Электротехники
1. Способы умножения исходного числа фаз сети $m=3$ (с помощью фазоумножающих трансформаторов) для синтеза (построения) ТВУ и АТВУ (на примере ТВУ-18). Формулировка принципа МКП. 2. По какому критерию и как из альтернативных вариантов ТВУ-2m1M можно определить наиболее эффективное решение? С какой целью в ТВУ-12+ТФ во вторичных обмотках используется две топологии их исполнения – «звезда» и «треугольник»? 3. Определить габаритную мощность трансформатора в ТВУ-12+ТФ. Лектор Г.С.Мыщык		

## Процедура проведения

1) За один месяц до начала экзамена студентам передается перечень вопросов по изученной ими дисциплине. 2) За один день до начала экзамена проводится консультация. 3) В начале экзамена студенты, в выбранном ими порядке подходят к столу, на котором разложены экзаменационные билеты (с пустой стороной сверху). Число билетов на 3-5 больше число студентов группы. 4) На подготовку ответов студентов отводится время 45-60 мин. 5) По принятым в НИУ МЭИ требованиям (критериям) за ответы студентов выставляется результирующая оценка и передается в этот же день в БАРС.

## *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-бПК-1 Умеет анализировать современное состояние электрооборудования автономных объектов и прогнозировать пути реализации перспективных технических решений

## Вопросы, задания

1. Понятие входного коэффициента мощности: его модельное описание и область техники, где он используется. Необходимы ли здесь знания гармонического анализа?
2. Дайте на конкретном примере определение критерия «энергетический баланс». С какой целью он используется?
3. Определение коэффициента гармоник напряжения и пример его вычисления для квазимеандра с паузой  $\pi/3$ .
4. Модель сигнала с формой меандр в виде ряда Фурье. Содержание в нём основной гармоники, вычисление его коэффициента гармоник.



5. Взаимосвязь выходных параметров ТВУ со входными, которая необходима при их проектировании:  $U_{d0}=f(U_2)$ ,  $I_2=f(I_{d0})$
6. Особенности формы потребляемых ими из сети токов. Значение их  $K_T(i_1)$  ?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Вопрос: Пояснить с помощью осциллограмм физику процессов заряда конденсатора в двух вариантах  $RLC$  цепи при подключении её источнику постоянного напряжения: 1-й вариант – без последовательного включённого диода и 2-й вариант – с последовательно включённым диодом.

Ответы:

Ответ: Рассмотрим 1-й вариант  $RLC$  цепи. При подключении к этой цепи источника постоянного напряжения  $E_p$  происходит затухающий колебательный процесс. В установившемся режиме напряжение на конденсаторе будет равно  $E_p$ . При этом ток в контуре в переходном режиме опережает на угол  $90$  градусов напряжение на конденсаторе, а относительно напряжения на индуктивности отстает от него на угол  $90$  градусов.

Рассмотрим 2-й вариант  $RLC$  цепи с диодом (DRLC цепь). Здесь характерным и заслуживающим исследования процесс начинается и заканчивается в течение  $180$  градусов, т.е. в течение полупериода собственной частоты  $RL$  контура. При этом объяснении физика процесса состоит в том, что диод обратную полуволну тока не пропускает, и поэтому колебательный процесс в этот момент заканчивается.

Конденсатор при этом заряжается до значения напряжения, равного  $2E_p$ .

Верный ответ: Ответ: Рассмотрим 1-й вариант  $RLC$  цепи. При подключении к этой цепи источника постоянного напряжения  $E_p$  происходит затухающий колебательный процесс. В установившемся режиме напряжение на конденсаторе будет равно  $E_p$ . При этом ток в контуре в переходном режиме опережает на угол  $90$  градусов напряжение на конденсаторе, а относительно напряжения на индуктивности отстает от него на угол  $90$  градусов. Рассмотрим 2-й вариант  $RLC$  цепи с диодом (DRLC цепь). Здесь характерным и заслуживающим исследования процесс начинается и заканчивается в течение  $180$  градусов, т.е. в течение полупериода собственной частоты  $RL$  контура. При этом объяснении физика процесса состоит в том, что диод обратную полуволну тока не пропускает, и поэтому колебательный процесс в этот момент заканчивается. Конденсатор при этом заряжается до значения напряжения, равного  $2E_p$ .

2. Вопрос: Понятие входного коэффициента мощности: его модельное описание и область техники, где он используется. Необходимы ли здесь знания гармонического анализа ?

Ответы:

Ответ: Входной коэффициент мощности (ВКМ) –  $\chi$  это показатель качества энергии, потребляемой объектом потребления энергии (ОПЭ). Он характеризует уровень искажений потребляемого ОПЭ тока и уровень потребления им реактивного тока и определяется так:

$$\chi = \frac{I_{d0}}{I_1} \cos \varphi_1 \quad (1)$$

где  $I_{d0}$  и  $I_1$  – действующие значения полного потребляемого тока и его основной гармоники;  $\varphi_1$  – угол сдвига по фазе между основными гармониками напряжения и тока, потребляемых ОПЭ из сети.

Таким ОПЭ являются, прежде всего, выпрямители и трансформаторно-выпрямительные устройства (ТВУ) и системы преобразования параметров электроэнергии на их основе. Как следует из (1), для определения аналитическим путём показателя  $\chi$  требуется использовать разложение мгновенных значений напряжения и тока на входе ОПЭ в ряд Фурье.

Верный ответ: Ответ: Входной коэффициент мощности (ВКМ) –  $\chi$  это показатель качества энергии, потребляемой объектом потребления энергии (ОПЭ). Он характеризует уровень искажений потребляемого ОПЭ тока и уровень потребления им реактивного тока и определяется так:  $\chi = I_{-1(1)} / I_{-1} \cos[\varphi_{-1(1)}]$ , (1) где  $I_{-1}$  и  $I_{-1(1)}$  – действующие значения полного потребляемого тока и его основной гармоники;  $\varphi_{-1(1)}$  – угол сдвига по фазе между основными гармониками напряжения и тока, потребляемых ОПЭ из сети. Таким ОПЭ являются, прежде всего, выпрямители и трансформаторно-выпрямительные устройства (ТВУ) и системы преобразования параметров электроэнергии на их основе. Как следует из (1), для определения аналитическим путём показателя  $\chi$  требуется использовать разложение мгновенных значений напряжения и тока на входе ОПЭ в ряд Фурье.

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-7<sub>ПК-1</sub> Умеет выбирать оптимальные технические решения для организации и технологии производства электрооборудования автономных объектов

### Вопросы, задания

1. Определить габаритную мощность трансформатора напряжения в ТВУ-6 по нулевой схеме при топологии первичной обмотки «треугольник».
2. Определение габаритной мощности трансформатора в ТВУ-6 по п.1.
3. Почему ТВУ- $m1Э(П)$  наиболее эффективны при на повышенных входных напряжениях ?
4. Три способа организации выходной цепи ТВУ.
5. Взаимосвязь  $K_T(i1)$  с числом каналов в ТВУ- $2m1M$  (где  $2m1M$  – пульсность выпрямленного напряжения).
6. Приведите пример схемы однофазного активного выпрямителя (ОАВ) на базе мостовой схемы и поясните принципы его управления и работы.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Вопрос: Методика расчёта индуктивности первичной обмотки трансформатора при их ИКМ и определение индуктивностей остальных обмоток.

Ответы:

Ответ: При ИКМ трансформатора напряжения (ТН) в среде *OrCAD* требуется задаваться значениями индуктивностей его обмоток. Задача их определения решается при заданных значениях параметров первичной и вторичных их обмоток и рабочей частоты ТН.

1 шаг: определяется значение тока холостого хода первичной обмотки  $W1$  ТН:

$$I_{xx} = (0,03 \div 0,05) I_{ном} . \quad (1)$$

2 шаг: в пренебрежении активным сопротивлением этой обмотки определяется её индуктивное сопротивление:

$$XL1 = U1_{ном} / I_{xx} . \quad (2)$$

3 шаг: при заданной частоте определяется индуктивность обмотки  $W1$ .

$$L1 = XL / 2\pi f . \quad (3)$$

4 шаг: при известном коэффициенте трансформации (двухобмоточного) ТН – КТ определяется индуктивность вторичной обмотки:

– для понижающего ТН, когда  $W1 > W2$ :  $L2 = L1 / (КТ)^2$  , (4)

– для повышающего ТН, когда  $W1 < W2$ :  $L2 = L1 / (КТ)^2$  . (5)

Верный ответ: Ответ: При ИКМ трансформатора напряжения (ТН) в среде *OrCAD* требуется задаваться значениями индуктивностей его обмоток. Задача их определения решается при заданных значениях параметров первичной и вторичных их обмоток и рабочей частоты ТН. 1 шаг: определяется значение тока холостого хода первичной обмотки  $W1$  ТН:  $I_{xx} = (0,03 \div 0,05) I_{ном}$  . (1) 2 шаг: в пренебрежении активным сопротивлением этой обмотки определяется её

индуктивное сопротивление:  $X_{L1} = U_{1ном} / I_{1хх}$  . (2) 3 шаг: при заданной частоте определяется индуктивность обмотки  $W1$ .  $L1 = X_L / 2\pi f$  . (3) 4 шаг: при известном коэффициенте трансформации (двухобмоточного) ТН – КТ определяется индуктивность вторичной обмотки: – для понижающего ТН, когда  $W1 > W2$ :  $L2 = L1 / (КТ)^2$  , (4) – для повышающего ТН, когда  $W1 < W2$ :  $L2 = L1 / (КТ)^2$  . (5)

2. Вопрос: Определить габаритную мощность трансформатора напряжения в ТВУ-6 по нулевой схеме при топологии первичной обмотки «треугольник».

Ответы:

Ответ: Ответ на данный вопрос требует знания физических процессов, происходящих в ТВУ-6 по нулевой схеме. В качестве отправной информации даётся определение габаритной мощности трансформатора напряжения. С учётом конкретного решения ТВУ-6 она имеет следующий известный вид:

$$P_{г} = \frac{3}{2} U_{д0} I_{д0} \quad (1)$$

где напряжения и токи – это действующие значения напряжений и токов соответствующих (первичных и двух групп вторичных) обмоток трансформатора. Поставленная задача должна быть решена в общем виде относительно параметров нагрузки  $U_{д0}$  и  $I_{д0}$ .

Основным источником информации, требуемой для ответа, являются формы токов во вторичных и первичных обмотках, по которым определяются необходимые в данном случае действующие их значения. Для упрощения расчёта принимается допущение о сглаженности пульсаций выпрямленного тока, так что в нагрузке протекает ток только от постоянной составляющей  $I_{д0}$  обусловленный выпрямленным напряжением  $U_{д0}$  . С этой же целью принимается допущение о коэффициенте трансформации трансформатора, равном 1. Коэффициенты магнитной связи между обмотками принимаются идеальными.

На основании проведенного ИКМ (или вручную – графоаналитическим путём) получают следующие результаты:

1. Форма токов во вторичных обмотках – однополярные импульсы с максимальным значением  $I_{2m} = I_{д0}$  и со скважностью  $s=6$ . Действующее значение этого тока для всех 6 вторичных обмоток 1-й и 2-й групп равно:

$$I_{2д} = \frac{I_{д0}}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

2. По закону полного тока (в пренебрежении током  $X_X$ ) ампер-витки первичной фазной обмотки должны равняться сумме ампер-витков двух вторичных обмоток этой же фазы. С учётом разной полярности ампер-витков в двух группах вторичных 3-х фазных обмотках одной и той же фазы введём понятие эквивалентных ампер-витков двух вторичных обмоток и запишем его в таком виде:

$$I_{2в} = \frac{2}{3} I_{д0} \quad (3)$$

где: – мгновенные значения в обмотках двух групп одной фазы.

3. В графическом представлении этот ток имеет форму двухполярных импульсов прямоугольной формы с максимальным значением  $I_{д0}$  и с паузой между импульсами, равной  $2\pi/3$ . Несложно показать (на лекциях это делалось), что такой ток содержит гармоники нулевой последовательности – ГНП, которые трансформироваться в первичную обмотку  $W1$  не могут. Таким образом, ток в обмотке  $W1$  должен равняться току за вычетом из него ГНП. Опуская процедуру определения содержания ГНП в токе , получим (при принятом условии  $W1 = W2$ ), что форма тока в первичной обмотке имеет вид «пьедестала» со значениями ступеней:

$$I_{1м} = (2/3) \cdot I_{д0} \quad \text{и} \quad (1/3) \cdot I_{д0}.$$

С учётом этого, действующее значение тока с формой «пьедестал» имеет известный вид:

$$I_{1д} = \frac{2}{3} I_{д0} \quad (4)$$

4. Таким образом, действующее значение токов во всех обмотках трансформатора в общем виде (т.е. через ток нагрузки  $I_{д0}$  ) мы определили.

5. Теперь осталось определить фазные напряжения на всех обмотках, выраженные через постоянную составляющую выпрямленного напряжения.

Используем известную взаимосвязь между амплитудой фазного напряжения вторичной обмотки и постоянной составляющей выпрямленного напряжения :

(5)

Из (5) получим:

(5a)

Таким образом, действующее значение этого напряжения равно:

(6)

6. При принятом значении коэффициента трансформации, равном 1, такое же значение напряжения будет и на первичной обмотке.

7. При этом вначале примем допущение, что первичная 3-х фазная обмотка имеет топологию «звезда», так что габаритная её мощность будет определяться следующим образом:

(7)

8. Габаритная мощность двух групп вторичных обмоток будет равна:

(8)

9. Используя (7) и (8), получим габаритную мощность трансформатора:

Ранее уже известный ответ подтверждён – задача решена верно.

10. При топологии обмотки  $W1$  «треугольнике» модель  $S1$  должна быть такой же (7), а толкование её должно быть следующим: при этой топологии фазное напряжение равно линейному, а ток в обмотках фазный, Поэтому величина  $S1$  должна определяться именно так, как в (7). Эта же модель верна и для топологии обмотки «звезда» ! Для некоторых студентов (а м.б. и специалистов) этот факт не всегда может быстро восприниматься.

Вопрос исчерпан.

Верный ответ: Ответ: Ответ на данный вопрос требует знания физических процессов, происходящих в ТВУ-6 по нулевой схеме. В качестве отправной информации даётся определение габаритной мощности трансформатора напряжения. С учётом конкретного решения ТВУ-6 она имеет следующий известный вид:  $S_{TV} = 1/2 (3U_1 I_1 + 6U_2 I_2)$ , (1) где напряжения и токи – это действующие значения напряжений и токов соответствующих (первичных и двух групп вторичных) обмоток трансформатора. Поставленная задача должна быть решена в общем виде относительно параметров нагрузки  $U_{d0}$  и  $I_{d0}$ . Основным источником информации, требуемой для ответа, являются формы токов во вторичных и первичных обмотках, по которым определяются необходимые в данном случае действующие их значения. Для упрощения расчёта принимается допущение о сглаженности пульсаций выпрямленного тока, так что в нагрузке протекает ток только от постоянной составляющей  $I_{d0}$  обусловленный выпрямленным напряжением  $U_{d0}$ . С этой же целью принимается допущение о коэффициенте трансформации трансформатора, равном 1. Коэффициенты магнитной связи между обмотками принимаются идеальными. На основании проведенного ИКМ (или вручную – графоаналитическим путём) получают следующие результаты: 1. Форма токов во вторичных обмотках – однополярные импульсы с максимальным значением  $I_{2m} = I_{d0}$  и со скважностью  $s=6$ . Действующее значение этого тока для всех 6 вторичных обмоток 1-й и 2-й групп равно:  $I_2^I = I_2^{II} = (I_{d0})/\sqrt{6}$ . (2) 2. По закону полного тока (в пренебрежении током ХХ) ампер-витки первичной фазной обмотки должны равняться сумме ампер-витков двух вторичных обмоток этой же фазы. С учётом разной полярности ампер-витков в двух группах вторичных 3-х фазных обмотках одной и той же фазы введём понятие эквивалентных ампер-витков двух вторичных обмоток и запишем его в таком виде:  $i_2^I(t) \cdot W_2 = W_2 [i_2^I(t) - i_2^{II}(t)]$ . (3) где:  $i_2^I(t)$  и  $i_2^{II}(t)$  – мгновенные значения в обмотках двух групп одной фазы. 3. В графическом представлении этот ток имеет форму двухполярных

импульсов прямоугольной формы с максимальным значением  $I_{d0}$  и с паузой между импульсами, равной  $2\pi/3$ . Несложно показать (на лекциях это делалось), что такой ток содержит гармоники нулевой последовательности – ГНП, которые трансформироваться в первичную обмотку  $W1$  не могут. Таким образом, ток в обмотке  $W1$  должен равняться току  $i_{2\varepsilon}(t)$  за вычетом из него ГНП. Опуская процедуру определения содержания ГНП в токе  $i_{2\varepsilon}(t)$ , получим (при принятом условии  $W1=W2$ ), что форма тока в первичной обмотке имеет вид «пьедестала» со значениями ступеней:  $I_{1m}=(2/3)\cdot I_{d0}$  и  $(1/3)\cdot I_{d0}$ . С учётом этого, действующее значение тока с формой «пьедестал» имеет известный вид:  $I_1=I_{1m}/\sqrt{2}=2/(3\sqrt{2}) I_{d0}$ . (4) 4. Таким образом, действующее значение токов во всех обмотках трансформатора в общем виде (т.е. через ток нагрузки  $I_{d0}$ ) мы определили. 5. Теперь осталось определить фазные напряжения на всех обмотках, выраженные через постоянную составляющую выпрямленного напряжения. Используем известную взаимосвязь между амплитудой фазного напряжения вторичной обмотки  $U_{2m}$  и постоянной составляющей выпрямленного напряжения  $U_{d0}$ :  $U_{d0}=6/\pi \sin[\alpha]_{\alpha=0}[\pi/6] U_{2m}=3/\pi U_{2m}$ . (5) Из (5) получим:  $U_{2m}=\pi/3 U_{d0}$ . (5а) Таким образом, действующее значение этого напряжения равно:  $U_2=\pi/(3\sqrt{2}) U_{d0}=U_1$ . (6) 6. При принятом значении коэффициента трансформации, равном 1, такое же значение напряжения будет и на первичной обмотке. 7. При этом вначале примем допущение, что первичная 3-х фазная обмотка имеет топологию «звезда», так что габаритная её мощность будет определяться следующим образом:  $S_1=3\cdot U_1\cdot I_1=3\cdot \pi/(3\sqrt{2}) U_{d0}\cdot 2/(3\sqrt{2}) I_{d0}=\pi/3 P_{d0}$ . (7) 8. Габаритная мощность двух групп вторичных обмоток будет равна:  $S_{(2\Sigma)}=6\cdot U_2\cdot I_2=6\cdot \pi/(3\sqrt{2}) U_{d0} (I_{d0})/\sqrt{6}=\pi/\sqrt{3} U_{d0} I_{d0}$ . (8) 9. Используя (7) и (8), получим габаритную мощность трансформатора:  $S_{\text{тн}}=1/2 (S_1+S_{(2\Sigma)})=1/2 (\pi/3 P_{d0}+\pi/\sqrt{3} P_{d0})=[\pi P]_{d0}/2 ((\sqrt{3}+3)/(3\sqrt{3}))=1,43P_{d0}$ . Ранее уже известный ответ подтверждён – задача решена верно. 10. При топологии обмотки  $W1$  «треугольнике» модель  $S1$  должна быть такой же (7), а толкование её должно быть следующим: при этой топологии фазное напряжение равно линейному, а ток в обмотках фазный, Поэтому величина  $S1$  должна определяться именно так, как в (7). Эта же модель верна и для топологии обмотки «звезда»! Для некоторых студентов (а м.б. и специалистов) этот факт не всегда может быстро восприниматься. Вопрос исчерпан.

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Владеет методами анализа и синтеза электронных энергетических систем

### Вопросы, задания

1. Пояснить с помощью осциллограмм физику процессов заряда конденсатора в двух вариантах  $RLC$  цепи при подключении её источнику постоянного напряжения: 1-й вариант – без последовательного включённого диода и 2-й вариант – с последовательно включённым диодом.
2. Привести обобщённую по  $m$  взаимосвязь между постоянной составляющей выпрямленного напряжения и действующим значением фазного напряжения вторичной обмотки 3-х фазного трансформатора напряжения.
3. Рациональная структура электропитания  $M$  распределённых потребителей постоянного тока при исходной 3-х фазной сети. Результирующий входной коэффициент мощности такой структуры. Методика его определения.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Вопрос: Почему ВУ с ККМ и ОАВ могут только повышать выпрямленное напряжение (относительно неуправляемого ВУ)?

Ответы:

Ответ: Повышение выходного напряжения в ОМВ с ККМ происходит потому, что при отдаче в конденсатор накопленной в дросселе (ДПН) энергии, напряжение самоиндукции ДПН, сопровождающее уменьшение его разрядного тока, суммируется с напряжением сети.

Верный ответ: Ответ: Повышение выходного напряжения в ОМВ с ККМ происходит потому, что при отдаче в конденсатор накопленной в дросселе (ДПН) энергии, напряжение самоиндукции ДПН, сопровождающее уменьшение его разрядного тока, суммируется с напряжением сети.

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

## III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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

### 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации: Экзамен**

### Пример билета

<b>МЭИ</b>	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 Кафедра ЭКАО и ЭТ ГОУВО НИУ «МЭИ»	Утверждаю Зав. кафедрой ЭКАО и ЭТ Профессор М.Ю. Румянцев  "09"мая 2023 г.
		Дисциплина: ЭЭС– электронные энергетические системы Институт Электротехники
<p>1. Типы однофазных инверторных ячеек (ИЯ). Рациональные (и не рациональные) алгоритмы регулирования в них выходного напряжения для двух случаев: 1) при нагрузке переменного тока; 2) при выпрямительной нагрузке. Тема раскрывается с помощью временных диаграмм процессов для нулевой ИЯ (НИЯ).</p> <p>2. Дайте определение критерия «энергетический баланс». С какой целью он используется ?</p> <p>3. Определение коэффициента гармоник напряжения и пример его вычисления для квазимерандра с паузой <math>\pi/3</math>.</p>		

## Процедура проведения

1) За один месяц до начала экзамена студентам передается перечень вопросов по изученной ими дисциплине. 2) За один день до начала экзамена проводится консультация. 3) В начале экзамена студенты, в выбранном ими в порядке подходит на столу, на котором разложены экзаменационные билеты (с пустой стороной сверху). Число билетов на 3-5 больше число студентов группы. 4) На подготовку ответов студентов отводится время 45-60 мин. 5) По принятым в НИУ МЭИ требованиям (критериям) за ответы студентов выставляется результирующая оценка и передается в этот же день в БАРС.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-7<sub>ПК-1</sub> Умеет выбирать оптимальные технические решения для организации и технологии производства электрооборудования автономных объектов

#### Вопросы, задания

1. Принцип построения и работы МЭГС-1 на основе асинхронной машины с короткозамкнутым ротором и ЧКП.
2. Дать определение многоканального принципа преобразования (инвертирования). Суть его на простейшем примере инвертора с ОШИМ выходного напряжения (на базе двух НИЯ). Способы выполнения (организации) выходной цепи. Назначение трансфильтров.
3. Отличительные особенности работы четырёхквadrантного преобразователя (ЧКП) в трёх режимах: а) – в автономном режиме; б) – в режиме параллельной работы с сетью; в) – в режиме малоискажающего выпрямителя.

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Вопрос: Определение коэффициента гармоник напряжения и пример его вычисления для квазиеандра с паузой  $\pi/3$ .

Ответы:

Ответ: Используем наиболее точный вариант решения задачи (определения коэффициента гармоник напряжения с формой квазиеандра с паузой  $\pi/3$ ), используя формулу (иногда называемую формулой Парсевалья):

$$K_g = \frac{U_{g1}}{U_1} \quad (1)$$

где  $U$  и  $U_1$  – действующие значения полного напряжения и его основной гармоники. Действующее значение напряжения заданной формы определим через скважность  $S = \pi/\theta$ , где  $\theta = 2\pi/3$  – длительность импульса:

$$U = U_m / S \quad (2)$$

где  $U_m$  – максимальное значение напряжения.

Содержание основной гармоники напряжения найдём из разложения мгновенного значения напряжения в ряд Фурье:

$$(3)$$

Положив  $k=1$ , найдём амплитудное и действующее значения искомой величины:

$$(5)$$

Подставив найденные в (2) и в (5) значения в модель (1), получим:

Ответ верный – задача решена.

Верный ответ: Ответ: Используем наиболее точный вариант решения задачи (определения коэффициента гармоник напряжения с формой квазимеридиана с паузой  $\pi/3$ ), используя формулу (иногда называемую формулой Парсевяля):  $K_{\Gamma} = 1/U_1 \sqrt{U^2 - U_1^2}$ , (1) где  $U$  и  $U_1$  – действующие значения полного напряжения и его основной гармоники. Действующее значение напряжения заданной формы определим через скажность  $S = \pi/\theta$ , где  $\theta = 2\pi/3$  – длительность импульса:  $U = U_m/\sqrt{S} = U_m/\sqrt{1,5}$ . (2) где  $U_m$  – максимальное значение напряжения. Содержание основной гармоники напряжения найдём из разложения мгновенного значения напряжения в ряд Фурье:  $u(t) = 4/\pi U_m \sum_{k=1}^{\infty} \cos[\omega t + (\pi/5)(2k-1)] / (2k-1) \sin[(\pi/5)(2k-1)\omega t]$ . (3) Положив  $k=1$ , найдём амплитудное и действующее значения искомой величины:  $U_1 = 4/\pi U_m \sqrt{3}/2 = 2/\pi U_m \sqrt{3}$ ,  $U_1 = 4/\pi U_m \sqrt{3}/(2\sqrt{2}) = 2/\pi U_m \sqrt{3/2}$ . (5) Подставив найденные в (2) и в (5) значения в модель (1), получим:  $K_{\Gamma} = (\pi\sqrt{2})/(2\sqrt{3}) \sqrt{((\sqrt{2}/\sqrt{3})^2 - ((2\sqrt{3})/(\pi\sqrt{2}))^2)} = 1,28255\sqrt{(0,6666 - 0,6079)} = 0,311$  Ответ верный – задача решена.

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Владеет методами анализа и синтеза электронных энергетических систем

### Вопросы, задания

1. Типы однофазных инверторных ячеек (ИЯ). Рациональные (и не рациональные) алгоритмы регулирования в них выходного напряжения для двух случаев: 1) при нагрузке переменного тока; 2) при выпрямительной нагрузке. Тема раскрывается с помощью временных диаграмм процессов для нулевой ИЯ (НИЯ).
2. Электронные имитаторы нагрузок переменного тока. Их назначение и структурно-функциональная реализация на основе использования ЧКП.
3. Двухполярная и однополярная ШИМ (ДШИМ и ОШИМ). Алгоритм (технология) формирования этих сигналов (на основе «вертикального» принципа управления). Сопоставление параметров, определяющих показатели их качества. Содержание 1-й гармоники напряжения с ДШИМ в долях от его максимального значения.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Вопрос: Дать определение многоканального принципа преобразования (инвертирования). Суть его на простейшем примере инвертора с ОШИМ выходного напряжения (на базе двух НИЯ). Способы выполнения (организации) выходной цепи. Назначение трансфильтров.

Ответы:

Ответ: Принцип многоканального преобразования (МКП) энергетического потока (ЭП) впервые был применён уже достаточно давно при синтезе трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) с повышенной пульсностью выпрямленного напряжения. Суть его заключается: 1) в разбиении ЭП на  $M$  равных частей (называемых каналами); 2) в преобразовании этих  $M$  частей ЭП по одинаковым алгоритмам; 3) в соответствующем фазовом сдвиге алгоритмов формирования этих частей ЭП между собой на угол  $\delta$ ; 4) и, наконец, в суммировании этих  $M$  частей ЭП по одной из двух структур: а) с последовательным суммированием  $M$  частей ЭП или б) с параллельным их суммированием с помощью трансфильтров (ТФ). В первом варианте суммируются выходные напряжения каналов, а во втором случае токи каналов. В обоих вариантах решаются следующие задачи: 1) с увеличением числа каналов оказывается возможным создавать УСЭ повышенной мощности при использовании ограниченной по мощности единичных ключевых элементов; 2) с ростом числа каналов улучшается электромагнитная совместимость, как по выходу, так и по входу УСЭ.

В последние примерно 30 лет принцип МКП был распространён практически на все другие классы устройств силовой электроники (УСЭ), включая инверторы напряжения, – класс УСЭ, который изучается магистрами (во втором семестре).



Простейший вариант двухканального однофазного инвертора напряжения (ОИН) на базе двух инверторных ячеек (НИЯ1 и НИЯ2) характеризуется тем, что транзисторы в каждом НИЯ1 и НИЯ2 работают противотактно, и каждая из них на своём выходе формирует выходное напряжение с двухполярной ШИМ (ДШИМ). При этом блок управления строится таким образом, что основные гармоники в их выходных напряжениях находятся в фазе, а алгоритмы управления транзисторами каналов (т.е. НИЯ1 и НИЯ2) сдвинуты между собой по фазе на тактовой частоте ДШИМ на угол  $\delta=\pi$ . В варианте суммирования выходных токов каналов выходные выводы НИЯ1 и НИЯ2 соединяют параллельно через двухобмоточный трансфильтр (ТФ), который обеспечивает выполнение двух функций: 1) суммирование токов каналов при одновременном их выравнивании; б) полное подавление определённого массива гармоник в напряжениях с ДШИМ, в результате чего результирующее выходное напряжение ОИН приобретает иную форму – с однополярной ШИМ (ОШИМ), которая характеризуется меньшими искажениями, чем напряжения с ДШИМ.

Верный ответ: Принцип многоканального преобразования (МКП) энергетического потока (ЭП) впервые был применён уже достаточно давно при синтезе трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ) с повышенной пульсностью выпрямленного напряжения. Суть его заключается: 1) в разбиении ЭП на  $M$  равных частей (называемых каналами); 2) в преобразовании этих  $M$  частей ЭП по одинаковым алгоритмам; 3) в соответствующем фазовом сдвиге алгоритмов формирования этих частей ЭП между собой на угол  $\delta$ ; 4) и, наконец, в суммировании этих  $M$  частей ЭП по одной из двух структур: а) с последовательным суммированием  $M$  частей ЭП или б) с параллельным их суммированием с помощью трансфильтров (ТФ). В первом варианте суммируются выходные напряжения каналов, а во втором случае токи каналов. В обоих вариантах решаются следующие задачи: 1) с увеличением числа каналов оказывается возможным создавать УСЭ повышенной мощности при использовании ограниченной по мощности единичных ключевых элементов; 2) с ростом числа каналов улучшается электромагнитная совместимость, как по выходу, так и по входу УСЭ. В последние примерно 30 лет принцип МКП был распространён практически на все другие классы устройств силовой электроники (УСЭ), включая инверторы напряжения, – класс УСЭ, который изучается магистрами (во втором семестре). Простейший вариант двухканального однофазного инвертора напряжения (ОИН) на базе двух инверторных ячеек (НИЯ1 и НИЯ2) характеризуется тем, что транзисторы в каждом НИЯ1 и НИЯ2 работают противотактно, и каждая из них на своём выходе формирует выходное напряжение с двухполярной ШИМ (ДШИМ). При этом блок управления строится таким образом, что основные гармоники в их выходных напряжениях находятся в фазе, а алгоритмы управления транзисторами каналов (т.е. НИЯ1 и НИЯ2) сдвинуты между собой по фазе на тактовой частоте ДШИМ на угол  $\delta=\pi$ . В варианте суммирования выходных токов каналов выходные выводы НИЯ1 и НИЯ2 соединяют параллельно через двухобмоточный трансфильтр (ТФ), который обеспечивает выполнение двух функций: 1) суммирование токов каналов при одновременном их выравнивании; б) полное подавление определённого массива гармоник в напряжениях с ДШИМ, в результате чего результирующее выходное напряжение ОИН приобретает иную форму – с однополярной ШИМ (ОШИМ), которая характеризуется меньшими искажениями, чем напряжения с ДШИМ.

2. Вопрос: Принцип работы трехфазного инвертора напряжения (ТИН) с  $\pi$  алгоритмом управления. Форма фазных и линейных напряжений на нагрузке, соединенной по схеме «звезда» с нулевым проводом (НП) и без него. Форма потребляемого тока при  $RL$  нагрузке. Определение средних и действующих значений этих напряжений.

Ответы:

Ответ: Принцип работы трехфазного инвертора напряжения (ТИН) с  $\pi$  алгоритмом управления. Форма фазных и линейных напряжений на нагрузке, соединенной по схеме «звезда» с нулевым проводом (НП) и без него. Форма потребляемого тока при  $RL$  нагрузке. Определение средних и действующих значений этих напряжений.

Верный ответ: Ответ: Принцип работы трехфазного инвертора напряжения (ТИН) с  $\pi$  алгоритмом управления. Форма фазных и линейных напряжений на нагрузке, соединенной по схеме «звезда» с нулевым проводом (НП) и без него. Форма потребляемого тока при  $RL$  нагрузке. Определение средних и действующих значений этих напряжений.

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

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