



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник УРОПС

Фонд оценочных средств  
(приложение к рабочей программе модуля)  
**«СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»**

основной профессиональной образовательной программы магистратуры  
по направлению подготовки

**13.04.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Профиль программы  
**«ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»**

ИНСТИТУТ

морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК

кафедра энергетики

## 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
<p>ПК-5: Способен самостоятельно планировать, организовывать, управлять деятельностью и выполнять работы по эксплуатации и ремонту объектов профессиональной деятельности с необходимым уровнем безопасности и надежности</p>	<p>ПК-5.6: Планирует и выполняет работы по эксплуатации и ремонту преобразовательных установок на объектах профессиональной деятельности</p>	<p>Силовая преобразовательная техника</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные направления, тенденции и перспективы развития преобразовательных устройств;</li> <li>– методы математического описания электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях электроэнергии;</li> <li>– характеристики, области применения, современные принципы построения, элементную базу и схемотехнические решения полупроводниковых преобразователей электроэнергии.</li> </ul> <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ставить задачи исследования, анализа и разработки объектов силовой преобразовательной техники;</li> <li>– проектировать электроэнергетические объекты с использованием полупроводниковых преобразователей электроэнергии.</li> </ul> <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основными теоретическими и экспериментальными методами, используемыми в передовых направлениях силовой преобразовательной техники;</li> <li>– методами расчета, моделирования и исследования электромагнитных процессов, протекающих в полупроводниковых преобразователях электроэнергии.</li> </ul>

## **2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания;
- задания и контрольные вопросы по лабораторным работам;
- задания по контрольной работе (для студентов заочной формы обучения).

2.3 Промежуточная аттестация в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

## **3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ**

3.1 Тестовые задания используются для оценки освоения тем дисциплины студентами. Тестирование обучающихся проводится на занятиях после изучения на лекциях соответствующих разделов. В приложении 1 приведены типовые тестовые задания.

По итогам выполнения тестовых заданий выставляется оценка в соответствии со следующими критериями:

- при правильных ответах на 84–100 % заданий – оценка «отлично»);
- при правильных ответах на 68–83 % заданий – оценка «хорошо»;
- при правильных ответах на 51–67 % заданий – оценка «удовлетворительно»;
- при правильных ответах на менее 50 % заданий – оценка «неудовлетворительно».

3.2 В приложении № 2 приведены типовые задания и контрольные вопросы по лабораторным работам. Оценка результатов выполнения лабораторных работ проводится при представлении студентом отчета по лабораторной работе и на основании ответов студента на контрольные вопросы по тематике работы. По результатам защиты отчетов по лабораторным работам и ответов на контрольные вопросы выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно», которая учитывается при промежуточной аттестации. Критерии оценивания представлены в таблице 2.

3.3 Для студентов заочной формы обучения предусмотрено выполнение контрольной работы (Приложение 3).

По результатам выполнения контрольной работы выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется, если выполнено правильно не менее 80% заданий. Допускается наличие неточностей или описок, не являющихся следствием незнания или непонимания учебного материала.

Оценка «не зачтено» выставляется в следующих случаях:

- выполнено менее 80% заданий;
- работа содержит грубые ошибки, свидетельствующие о непонимании основ теории;
- работа выполнена не в соответствии с заданием;
- работа выполнена не самостоятельно.

#### 4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1 Промежуточная аттестация в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. Учитываются результаты выполнения лабораторных работ, а также тестовых заданий. Система оценивания «зачтено» / «не зачтено». Критерии оценивания представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2 Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить

Система оценок  Критерий	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	<b>0-40%</b>	<b>41-60%</b>	<b>61-80 %</b>	<b>81-100 %</b>
	<b>«неудовлетворительно»</b>	<b>«удовлетворительно»</b>	<b>«хорошо»</b>	<b>«отлично»</b>
	<b>«не зачтено»</b>	<b>«зачтено»</b>		
	находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	задачи	информацию в рамках поставленной задачи	новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

## **5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ**

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Силовая преобразовательная техника» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электроснабжение».

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры энергетики (протокол № 4 от 29.03.2022 г.)

Заведующий кафедрой



---

В.Ф. Белей

Приложение № 1

**ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Вариант 1**

1. Неуправляемый выпрямитель выполнен по трехфазной мостовой схеме и питается от сети с действующим значением линейного напряжения $U_2$ . Выпрямленное напряжение равно	
1. $\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2$ .	3. $\frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2$ .
2. $\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2$ .	4. $\frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_2$ .
2. Неуправляемый выпрямитель по двухполупериодной нулевой схеме питается от трансформатора с действующим значением переменного напряжения на вторичной полуобмотке $U_2$ . Максимальное обратное напряжение диода равно	
1. $2\sqrt{2}U_2$ .	3. $\sqrt{6}U_2$ .
2. $\sqrt{3}U_2$ .	4. $\sqrt{2}U_2$ .
3. Регулировочная характеристика однофазного выпрямителя имеет вид	
1. $U_{d0} \left[ 1 + \cos \left( \alpha + \frac{\pi}{6} \right) \right]$ .	3. $\frac{1 + \cos \alpha}{2} U_{d0}$ .
2. $U_{d0} \left[ 1 + \cos \left( \alpha + \frac{\pi}{3} \right) \right]$ .	4. $U_{d0} \cos \alpha$ .
4. Выпрямитель работает на активно-индуктивную нагрузку. При $L_d \rightarrow \infty$ форма тока, потребляемого из сети	
1. стремится к прямоугольной.	3. стремится к синусоидальной.
2. представляет собой импульсы малой длительности.	4. не зависит от величины $L_d$ .
5. Основной причиной снижения выпрямленного напряжения при увеличении тока нагрузки является	
1. увеличение прямого напряжения вентилей.	3. потеря напряжения в активных сопротивлениях сети.
2. падение напряжения на индуктивности рассеяния трансформатора.	4. увеличение времени обратного восстановления вентилей.
6. При параллельном соединении выпрямительных мостов реакторы включают для	
1. ограничения тока короткого замыкания.	3. уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения.
2. уменьшения пульсаций выпрямленного тока.	4. ограничения уравнивающих токов.
7. Для перевода выпрямителя в инверторный режим необходимо	
1. установить величину напряжения источника в цепи постоянного тока больше амплитуды переменного напряжения и установить угол отпирания вентилей больше	3. изменить полярность источника в цепи постоянного тока на противоположную и сделать угол отпирания вентилей минимальным.

$\pi/2$ .	
2. изменить полярность источника в цепи постоянного тока на противоположную и установить угол отпираания вентилей больше $\pi/2$ .	4. подключить параллельно выпрямителю второй комплект с встречно включенными вентилями.

8. Опрокидыванием инвертора называется	
1. процесс при изменении полярности источника постоянного напряжения на противоположную.	3. явление аварийного возрастания тока при уменьшении угла запаса ниже допустимого.
2. изменение направления передачи потока энергии на противоположное.	4. явление короткого замыкания в инверторе, вызванное пробоем одного из вентилей.

9. В реверсивном преобразователе с отдельным управлением	
1. в любой момент времени работает только один комплект вентилей.	3. углы управления вентильными комплектами устанавливаются независимо.
2. выравнивание напряжений вентильных комплектов выполняется за счет уравнивающих реакторов.	4. один из вентильных комплектов работает в выпрямительном режиме, другой – в инверторном.

10. Автономный инвертор тока	
1. потребляет от источника постоянный ток, не зависящий от сопротивления нагрузки.	3. питает нагрузку током прямоугольной формы.
2. предназначен для работы на активно-индуктивную нагрузку.	4. формирует на нагрузке напряжение прямоугольной формы.

11. Непосредственный преобразователь частоты, питающийся от сети с частотой 50 Гц, обеспечивает регулирование выходной частоты в диапазоне	
1. от 25 Гц до 75 Гц.	3. от 0 до 50 Гц.
2. от 0 до 25 Гц.	4. от 0 до предельной частоты переключения вентилей.

12. В линиях электропередач постоянного тока	
1. энергия передается от ведомого инвертора к выпрямителю.	3. происходит обмен энергией между двумя ведомыми инверторами, подключенным с двух концов линии.
2. происходит перераспределение энергии между двумя выпрямителями, работающими на линию с двух ее концов.	4. энергия передается от выпрямителя к ведомому инвертору.



### Вариант 2

1. Неуправляемый выпрямитель выполнен по трехфазной нулевой схеме и питается от трансформатора с действующим значением вторичного фазного напряжения $U_{2ф}$ . Выпрямленное напряжение равно	
1. $\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{2ф}$ .	3. $\frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{2ф}$ .
2. $\frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2ф}$ .	4. $\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_{2ф}$ .
2. Однофазный мостовой выпрямитель питается от сети с действующим значением напряжения $U_2$ . Максимальное обратное напряжение диода равно	
1. $2\sqrt{2}U_2$ .	3. $\sqrt{2}U_2$ .
2. $\sqrt{3}U_2$ .	4. $\sqrt{6}U_2$ .
3. Регулировочная характеристика трехфазного мостового выпрямителя имеет вид	
1. $U_{d0} \sin \alpha$ .	3. $\frac{1+\cos \alpha}{2} U_{d0}$ .
2. $U_{d0} \cos \alpha$ .	4. $U_{d0} (1 + \cos \alpha)$ .
4. Управляемый выпрямитель работает на активно-индуктивную нагрузку. Увеличение индуктивности $L_d$ приводит к	
1. уменьшению выпрямленного напряжения.	3. к появлению провалов в выпрямленном напряжении.
2. уменьшению содержания высших гармоник тока сети.	4. увеличению выпрямленного напряжения.
5. Внешней характеристикой выпрямителя называется	
1. зависимость выпрямленного напряжения от угла управления.	3. зависимость выходного тока от сопротивления нагрузки.
2. зависимость выпрямленного напряжения от тока нагрузки.	4. зависимость тока сети от сопротивления нагрузки.
6. Трансформатор, питающий последовательно включенные выпрямительные мосты, содержит две группы вторичных обмоток, соединенных	
1. треугольником.	3. звездой.
2. любым способом, но одинаковым для обеих групп.	4. одна звездой, другая треугольником.
7. Угол опережения $\beta$ в ведомых инверторах – это	
1. угол сдвига между напряжениями двух фаз, в которых происходит коммутация.	3. угол отпирания вентилей, при котором происходит перемена направления передачи электроэнергии.
2. угол запаса, необходимый для того, чтобы вентиль успел восстановить запирающую способность.	4. угол, отсчитываемый от момента отпирания вентиля до точки перехода переменного напряжения через ноль.
8. Входная характеристика ведомого инвертора – это	

1. зависимость входного тока инвертора от угла опережения.	3. зависимость напряжения в цепи постоянного тока от угла опережения.
2. зависимость угла коммутации от входного напряжения.	4. зависимость входного напряжения инвертора от среднего значения входного тока.

9. Двухкомплектные реверсивные преобразователи по сравнению с однокомплектными обеспечивают	
1. изменение полярности напряжения нагрузки.	3. более высокий ток нагрузки.
2. более высокое быстродействие при реверсе.	4. изменение направления тока нагрузки.

. Автономный инвертор напряжения	
1. предназначен для работы на активно-индуктивную нагрузку.	3. формирует в нагрузке ток прямоугольной формы.
2. имеет в составе индуктивность для сглаживания потребляемого тока.	4. предназначен для работы на активно-емкостную нагрузку.

11. Двухзвенный преобразователь частоты, питающийся от сети с частотой 50 Гц, обеспечивает регулирование выходной частоты в диапазоне	
1. от 50 Гц до 200 Гц.	3. от 0 до предельной частоты переключения вентиляей.
2. от 0 до 25 Гц.	4. от 0 до 50 Гц.

12. Активный корректор коэффициента мощности	
1. коммутирует реактивные элементы, подключенные параллельно нагрузке, с целью повышения $\cos\varphi$ .	3. приближает форму тока, потребляемого из сети, к синусоидальной за счет широтно-импульсной модуляции.
2. регулирует величину тока, потребляемого дополнительно включенными реактивными элементами.	4. генерирует в сеть дополнительный ток, компенсирующий реактивную составляющую тока нагрузки.

### Вариант 3

1. Неуправляемый выпрямитель выполнен по однофазной мостовой схеме и питается от источника переменного напряжения с действующим значением $U_2$ . Выпрямленное напряжение равно	
1. $\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2$ .	3. $\frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_2$ .
2. $\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2$ .	4. $\frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2$ .

2. Неуправляемый выпрямитель по трехфазной мостовой схеме питается от сети с действующим значением линейного напряжения $U_2$ . Максимальное обратное напряжение диода равно	
1. $2\sqrt{2}U_2$ .	3. $\sqrt{6}U_2$ .

2. $\sqrt{3}U_2$ .	4. $\sqrt{2}U_2$ .
3. Диапазон регулирования угла управления $\alpha$ в трехфазном нулевом выпрямителе составляет	
1. $120^\circ$ .	3. $90^\circ$ .
2. $180^\circ$ .	4. $150^\circ$ .
4. Неуправляемый выпрямитель работает на приемник с противо-ЭДС. Появление в цепи нагрузки индуктивности $L_d$ приводит к	
1. уменьшению длительности открытого состояния вентиля.	3. увеличению длительности открытого состояния вентиля.
2. уменьшению содержания высших гармоник в выходном напряжении.	4. увеличению выпрямленного напряжения $U_d$ .
5. Угол коммутации $\gamma$ – это угол, характеризующий	
1. длительность процесса перехода тока с вентиля на вентиль.	3. соотношение активной и реактивной составляющих нагрузки.
2. момент отпирания вентиля.	4. момент выключения вентиля.
6. Трансформатор, питающий параллельно включенные выпрямительные мосты, имеет сдвиг фаз двух систем трехфазных напряжений, равный	
1. $120^\circ$ .	3. $30^\circ$ .
2. $60^\circ$ .	4. $0^\circ$ .
7. В ведомом инверторе угол управления и угол опережения связаны между собой соотношением	
1. $\beta = \pi/2 - \alpha$ .	3. $\beta = 2\pi - \alpha$ .
2. $\beta = \pi + \alpha$ .	4. $\beta = \pi - \alpha$ .
8. Ограничительная характеристика ведомого инвертора определяет	
1. диапазон токов инвертора, при которых его вентили работают без перегрузки.	3. предельно допустимый входной ток инвертора, обеспечивающий минимальный угол запаса.
2. допустимый диапазон углов опережения.	4. пределы величины ЭДС, в которых не нарушается коммутация вентиля.
9. Реверсивный преобразователь	
1. – это инвертор, работоспособный при любой полярности напряжения.	3. обеспечивает перемену направления тока нагрузки.
2. может работать как в выпрямительном, так и в инверторном режиме.	4. обеспечивает изменение полярности напряжения и тока в нагрузке.
10. В трехфазном автономном инверторе с длительностью открытого состояния $180^\circ$	
1. всегда одновременно открыты два вентиля: один подключен к положительному полюсу источника, другой – к отрицательному.	3. вентили трех однофазных инверторов открываются независимо друг от друга.

2. всегда одновременно открыты три вентиля: один подключен к положительному полюсу источника, два – к отрицательному, или наоборот.	4. всегда одновременно открыты четыре вентиля: два подключены к положительному полюсу источника, два других – к отрицательному.
---	---

11. Недостатком двухзвенного преобразователя частоты является	
1. малый диапазон регулирования выходной частоты.	3. большая величина потребляемого из сети реактивного тока.
2. низкий КПД.	4. высокое содержание гармоник в выходном напряжении.

12. При работе возобновляемого источника электроэнергии параллельно с энергосистемой используется	
1. ведомый инвертор для заряда аккумуляторной батареи.	3. автономный инвертор для питания нагрузки.
2. ведомый инвертор для передачи энергии в сеть.	4. ведомый инвертор для питания нагрузки.

Приложение № 2

**ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ  
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

**Лабораторная работа № 1. Исследование неуправляемых выпрямителей**

Задание на выполнение работы:

1. Собрать модель неуправляемого выпрямителя по индивидуальному заданию в программной среде Multisim и запустить процесс моделирования.
2. Зафиксировать с помощью виртуальных измерительных приборов основные параметры процесса: форму выпрямленного напряжения и тока сети, среднее выпрямленное напряжение, максимальный и средний ток диода, максимальное напряжение на запертом диоде.
3. Рассчитать измеренные величины и сравнить с экспериментальными данными.
4. Обобщить результаты эксперимента и дать сравнительную характеристику различных выпрямительных схем.

Контрольные вопросы:

1. Указать достоинства и недостатки различных выпрямительных схем.
2. Определить параметры пульсаций выпрямленного напряжения.
3. Провести анализ формы тока, потребляемого из сети.
4. Почему возникает подмагничивание трансформатора в выпрямителях, и каковы пути его устранения?

**Лабораторная работа № 2. Исследование управляемых выпрямителей**

Задание на выполнение работы:

1. Собрать модель выпрямителя по индивидуальному заданию и запустить процесс моделирования.
2. Снять экспериментально регулировочную характеристику, изменяя угол отпирания вентилей. Зафиксировать форму выпрямленного напряжения для ряда значений угла.
3. Рассчитать регулировочную характеристику выпрямителя по исходным данным. Построить экспериментальную и расчетную характеристики и сравнить их.

#### Контрольные вопросы

1. Чем определяется диапазон регулирования угла отпирания вентилей?
2. Как зависит гармонический состав выпрямленного напряжения от угла отпирания вентилей?
3. Какие величины характеризуют степень несинусоидальности тока, потребляемого из сети?

#### **Лабораторная работа №3. Исследование внешней характеристики выпрямителя**

Задание на выполнение работы:

1. Собрать модель выпрямителя по индивидуальному заданию и запустить процесс моделирования.
2. Зафиксировать и объяснить форму выпрямленного напряжения и тока вентилей.
3. Изменяя сопротивление нагрузки, снять экспериментальную внешнюю характеристику выпрямителя.
4. Рассчитать внешнюю характеристику по исходным данным и сравнить ее с экспериментальной.

#### Контрольные вопросы

1. Методы анализа процесса в выпрямителе на интервале коммутации.
2. От чего зависит длительность интервала коммутации?
3. Определение формы и величины выпрямленного напряжения с учетом явления коммутации.
4. Каковы особенности внешней характеристики для различных выпрямительных схем?
5. Каково влияние явления коммутации на форму тока, потребляемого из сети?

#### **Лабораторная работа № 4. Исследование автономного инвертора**

Задание на выполнение работы:

1. Собрать модель автономного инвертора по индивидуальному заданию и запустить процесс моделирования.
2. Зафиксировать и объяснить форму выходного напряжения и входного тока.
3. Определить экспериментально характер внешней характеристики инвертора.

Контрольные вопросы:

1. Отличительные особенности автономных инверторов тока и напряжения.

2. Влияние характера нагрузки на выбор типа автономного инвертора.
3. Назначение вентилей обратного тока в автономных инверторах.
4. Пояснить способ формирования трехфазного напряжения в автономном инверторе.
5. Способы регулирования выходного напряжения автономных инверторов.
6. Что такое широтно-импульсное регулирование? Какие преимущества оно дает в автономных инверторах?

Приложение № 3

**ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ**

**Задача контрольной работы** – освоение методов анализа электромагнитных процессов в силовых полупроводниковых преобразователях электроэнергии и расчета их основных характеристик.

**Тема контрольной работы** – расчет управляемого выпрямителя, работающего на активно-индуктивную нагрузку.

В задании на работу указываются следующие данные.

- 1 Схема выпрямления.
- 2 Напряжение сети переменного тока.
- 3 Номинальное выпрямленное напряжение.
- 4 Параметры нагрузки: активное сопротивление  $R_d$  и индуктивность  $L_d$ .
- 5 Заданное значение угла управления  $\alpha_z$  для построения внешней характеристики, временных диаграмм и для расчета пульсаций.
- 6 Допустимые пульсации тока нагрузки, %.

**Контрольная работа должен включать следующие элементы:**

- титульный лист;
- задание на контрольную работу;
- расчет параметров и выбор силового трансформатора;
- расчет и построение регулировочной характеристики;
- расчет и построение внешних характеристик выпрямителя для  $\alpha = 0$  и  $\alpha = \alpha_z$ ;
- анализ формы выпрямленного напряжения и потребляемого из сети тока с построением из временных диаграмм и определением спектральных характеристик;
- выбор силовых полупроводниковых ключей.

**Выбор трансформатора и определение его параметров**

По исходным данным определяется номинальная мощность нагрузки  $P_n$ , определяемая при угле отпирания тиристоров  $\alpha = 0$ . По значению  $P_n$  с некоторым запасом, обусловленным потерями в тиристорах, соединительных проводах и контактных соединениях, выбирается номинальная мощность трансформатора из стандартного ряда, предусмотренного ГОСТ 9680-77. Далее по мощности выбирается конкретная модель трансформатора, и определяются его параметры.



По номинальному выпрямленному напряжению определяется требуемое вторичное напряжение трансформатора. Рассчитанное значение увеличивается с учетом возможного снижения напряжения сети и потерь. Согласно ГОСТ 32144-2013, допускается снижение напряжения до уровня 90% от номинального. Запас на потери рекомендуется установить 5%.

Используя значения напряжения короткого замыкания трансформатора  $u_k$ , и мощности потерь короткого замыкания  $P_k$ , определяем активное и индуктивное сопротивление фазы трансформатора, приведенные к первичной обмотке.

### **Построение регулировочной характеристики**

Для построения регулировочной характеристики необходимо задаться несколькими значениями угла управления  $\alpha$ , для каждого из которых рассчитывается выпрямленное напряжение  $U_d$ . Диапазон углов  $\alpha$  берется из условия регулирования выходного напряжения до нуля. Расчет ведется для режима, близкого к режиму холостого хода, т.е. не учитываются потери и явление коммутации. Далее строится зависимость  $U_d = f(\alpha)$ .

**Внешние характеристики** строятся по аналитическим выражениям. Необходимое значение  $L_s$  определяется из индуктивного сопротивления фазы, приведенного к вторичной обмотке трансформатора. Внешняя характеристика выпрямителя при  $\alpha = 0$  ограничивается значением тока  $I_d$ , при котором угол коммутации  $\gamma = \pi/3$ . Внешние характеристики при других  $\alpha$  строятся в этом же диапазоне токов.

**Временные диаграммы напряжения на нагрузке** строятся для номинального режима для двух значений угла управления:  $\alpha = 0$  и указанного в задании. Диаграммы строятся с учетом явления коммутации.

### **Расчет пульсаций тока нагрузки и выбор сглаживающего дросселя**

Пульсации тока нагрузки при ее активно-индуктивном характере определяются первой гармоникой выпрямленного напряжения. Поэтому вначале определяется амплитуда первой гармоники выпрямленного напряжения для двух значений угла управления:  $\alpha = 0$  и заданного для данного варианта. При этом явление коммутации не учитывается. Далее рассчитывается амплитуда пульсаций тока  $I_{1m}$  и определяется коэффициент пульсации как отношение  $I_{1m} / I_d$ . Если полученное значение коэффициента пульсаций тока больше заданного, рассчитывается индуктивность дополнительного дросселя, включаемого между выпрямителем и нагрузкой.

### **Расчет спектрального состава тока, потребляемого из сети**

Принимаем, что ток нагрузки выпрямителя идеально сглажен, а интервал коммутации достаточно мал. При этих допущениях кривая фазного тока имеет прямоугольную форму.

Необходимо определить действующее значение первичного тока трансформатора и действующее значение первой гармоники первичного тока, а также рассчитать коэффициент искажения синусоидальности кривой тока в соответствии с ГОСТ Р 54130-2010.

**Выбор тиристорov** проводится исходя из режима максимального тока нагрузки  $I_{d, \max}$ , то есть при максимально возможном входном напряжении  $1,1U_1$  и  $\alpha = 0$ . Процедура выбора включает следующие этапы:

1) По известному току  $I_{d, \max}$  определяются среднее  $I_{cp}$  и действующее значение тока тиристора.

2) По среднему значению тока предварительно выбирается тиристор. Из технических справочников, промышленных каталогов или иной документации производителя выписываются его параметры.

3) По максимальному обратному напряжению, которое может быть приложено к тиристорy в рассчитываемом выпрямителе, выбирается класс тиристора по напряжению. В зависимости от максимально допустимого значения повторяющегося импульсного напряжения в закрытом состоянии силовым полупроводниковым приборам присваивается класс по напряжению. Для повышения надежности работы тиристорov их обычно выбирают с некоторым запасом по напряжению.