

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

---

**Руководитель ОПОП ВО**  
**профессор В.А. Шпенст**

---

**Проректор по образовательной**  
**деятельности**  
**Д.Г. Петраков**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

**Уровень высшего образования:** Бакалавриат

**Направление подготовки:** 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Направленность (профиль):** Электроснабжение

**Квалификация выпускника:** Бакалавр

**Форма обучения:** очная

**Составитель:** доц. Костин В.Н.

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Силовая электроника» разработана:**

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки «13.03.02 Электроэнергетика и электротехника», утвержденного приказом Минобрнауки России № 144 от 28.02.2018 г.;

- на основании учебного плана бакалавриата по направлению подготовки «13.03.02 Электроэнергетика и электротехника» направленность (профиль) «Электроснабжение».

Составитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. В.Н. Костин

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена** на заседании кафедры электроэнергетики и электромеханики от 27.01.2022 г., протокол № 08/01.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. В.А. Шпенст

**Рабочая программа согласована:**

Начальник управления учебно-методического обеспечения образовательного процесса \_\_\_\_\_ к.т.н. Иванова П.В.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель дисциплины** – формирование у студентов базовых знаний в области преобразования электроэнергии на основе использования силовых полупроводниковых приборов.

### Основные задачи дисциплины:

- ознакомление с силовыми полупроводниковыми приборами;
- изучение схем преобразования электрической энергии;
- получение навыков проектирования силовых вентильных преобразователей.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Силовая электроника» относится к обязательной части Блока 1 Дисциплины (модули) основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», направленность (профиль) «Электроснабжение», изучается в 6 семестре.

Дисциплина «Силовая электроника» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: Электроснабжение, Электроэнергетические системы и сети, Электрический привод, Электротехнологические установки.

Особенностью дисциплины «Силовая электроника» является изучение методов преобразования электрической энергии в электроэнергетике.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Силовая электроника» направлен на формирование следующих компетенций и получение основных результатов обучения:

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Содержание компетенций	Коды компетенции	
Способность использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.	ОПК-3	ОПК-3.4. Демонстрирует понимание принципа действия электронных устройств.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы или 108 ак. часов.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Семестр 6
<b>Аудиторные занятия (всего), в том числе</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
Лекции	18	18
Практические занятия	18	18
Лабораторные работы	18	18
<b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
Расчетно-графическая работа	14	14

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Семестр 6
Подготовка к лабораторным работам	10	10
Подготовка к практическим занятиям	11	11
Подготовка к диф. зачету	19	19
Вид промежуточной аттестации (дифф. зачет - ДЗ)	ДЗ	ДЗ
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>		
<b>ак. час</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>зач. ед.</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

#### 4.2. Содержание дисциплины

В план подготовки входят лекции, практические и лабораторные занятия и самостоятельная работа.

##### 4.2.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№	Название раздела дисциплины	Виды занятий				
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего ак. часов
1	Раздел 1. Введение. Полупроводниковые приборы	2	-	-	6	8
2	Раздел 2. Выпрямители тока	5	18	11	16	52
3	Раздел 3. Инверторы, ведомые сетью	4	-	4	16	23
4	Раздел 4. Автономные инверторы и преобразователи частоты	5	-	3	11	18
5	Раздел 5. Тиристорные контакторы	2	-	-	5	7
	<b>Итого</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>108</b>

##### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 1	Введение. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе. Основные понятия. Краткая историческая справка. Основные сведения о развитии и современном состоянии силовой электроники. Классификация силовых полупроводниковых приборов (диоды, тиристоры, транзисторы). Основные параметры, Вольтамперная характеристика. Процессы включения и выключения.	2

№ п/п	Наименование раздела	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
2	Раздел 2	Классификация выпрямителей. Однофазные и трехфазные неуправляемые выпрямители тока. Основные диаграммы токов и напряжений. Основные расчетные соотношения. Работа выпрямителей при $L_d = 0$ и $L_d = \infty$ . Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения. Понятие угла регулирования. Работа трехфазного мостового выпрямителя в режиме 2-3. Процесс коммутации тока. Выпрямленное напряжение. Внешние характеристики выпрямителя. Гармонические составляющие в выпрямленном напряжении и первичном токе. КПД и коэффициент мощности управляемого выпрямителя.	6
3	Раздел 3	Классификация инверторов. Перевод преобразователя в инверторный режим. Коммутация тока в инверторе. Опрокидывание инвертора. Срыв коммутации инвертора. Выпрямленное напряжение инвертора. Внешние характеристики. Энергетические показатели инвертора.	4
4	Раздел 4	Классификация автономных инверторов. Однофазный мостовой автономный инвертор напряжения (АИН). Регулирование величины и формы напряжения в АИН. Трехфазный АИН. Трехфазный АИН с ШИР. Трехфазный АИН с ШИР. Преобразователи частоты с непосредственной связью. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока.	5
5	Раздел 5	Понятие о тиристорном контакторе. Сопоставление контактных и бесконтактных аппаратов. Тиристорные контакторы переменного тока. Тиристорные контакторы переменного тока.	2

#### 4.2.3. Лабораторные работы

№ п/п	Раздел	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость ак. час.
1	Раздел 2	Неуправляемые однофазные выпрямители	4
2	Раздел 2	Неуправляемые трехфазные выпрямители	4
3	Раздел 2	Управляемый трехфазный мостовой выпрямитель	4
4	Раздел 3	Трехфазный мостовой инвертор ведомый сетью	4
5	Раздел 4	Автономный инвертор напряжения	3

#### 4.2.4. Практические занятия

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий: Проектирование трехфазного мостового управляемого выпрямителя	Трудоемкость ак. час
1	Раздел 2	Выбор источника питания и тиристоров выпрямителя	2
2	Раздел 2	Выбор охладителей, защитных РС-цепей и сглаживающего реактора	4
3	Раздел 2	Внешние характеристики выпрямителя	4
4	Раздел 2	Гармонический состав тока на входе и напряжения на выходе выпрямителя	4
5	Раздел 2	Выбор фильтрокомпенсирующих устройств выпрямителя	5

#### 4.2.5. Курсовая работа (проект)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;
- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Лабораторные занятия.** Цели лабораторных занятий:

- углубить и закрепить знания, полученные на лекциях и в процессе самостоятельной работы обучающихся с учебной и научной литературой;
- главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

- совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне дифф. зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

**Расчетно-графическая работа**

Тема расчетно-графической работы «Групповое включение вентиля в плече преобразователя».

Каждый студент получает индивидуальное задание, в котором указывается количество последовательно-параллельно включенных вентиля с заданными характеристиками. Задано напряжение, прикладываемое к группе вентиля.

Основные этапы расчета:

- выбрать параметры вентиляльных защитных резисторно-емкостных  $RC$ -цепей;
- определить мощность резисторов  $R$ ;
- выбрать сопротивление шунтирующих резисторов  $R_{ш}$ ;
- определить мощность шунтирующих резисторов  $R_{ш}$ .

Графическая часть работы выполняется на листе формата А4 и включает в себя:

- схему плеча преобразователя с выбранной схемой делителей тока;
- схему плеча преобразователя с шунтирующими резисторами и защитными  $RC$ -цепями;
- картины напряжения на вентилях при различных углах регулирования.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Тематика для самостоятельной подготовки**

#### **Раздел 1. Полупроводниковые приборы**

1. Силовые диоды
2. Тиристоры
3. Транзисторы
4. Охлаждение силовых приборов

#### **5. Защита от перенапряжений**

#### **Раздел 2. Выпрямители тока**

1. Однофазные выпрямители
2. Трехфазные выпрямители
3. Управляемые выпрямители
4. Процесс коммутации тока
5. Энергетические показатели выпрямителей

#### **Раздел 3. Инверторы, ведомые сетью**

1. Перевод преобразователя в инверторный режим
2. Особенности коммутации тока
3. Опрокидывание и срыв коммутации
4. Внешние характеристики преобразователя
5. Энергетические показатели инвертора

#### **Раздел 4. Автономные инверторы и преобразователи частоты**

1. Однофазный мостовой АИТ
2. Однофазный мостовой АИН
3. Регулирование напряжения в АИН
4. Трехфазный АИН
5. Трехфазный АИН с ШИР

#### **Раздел 5. Тиристорные контакторы и преобразователи частоты**

1. Преобразователи частоты с непосредственной связью
2. Преобразователи частоты с звеном постоянного тока
3. Сравнение контактных и бесконтактных коммутаторов

4. Тиристорные контакторы переменного тока
5. Тиристорные контакторы постоянного тока

### 6.1.1. Расчетно-графическая работа

Тема расчетно-графической работы «Групповое включение вентилей в плече преобразователя».

## 6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (дифференцированного зачета)

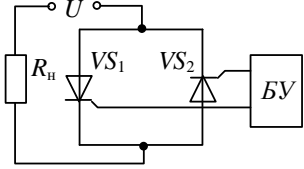
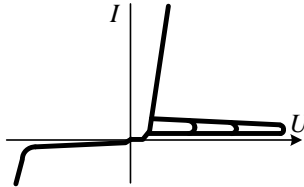
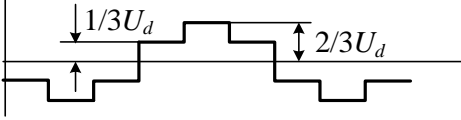
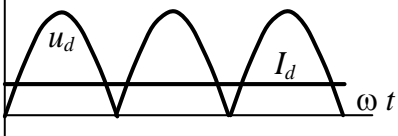
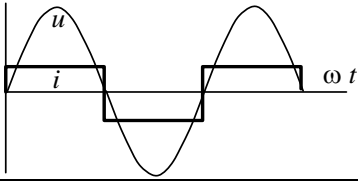
### 6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий для подготовки к дифференцированному зачету (по дисциплине):

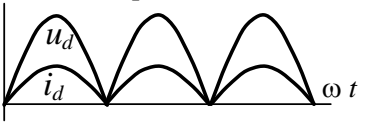
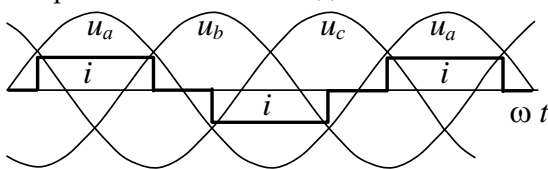
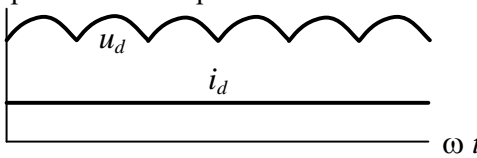
1. Классификация силовых полупроводниковых приборов.
2. Основные параметры диодов.
3. Основные параметры тиристоров
4. Основные параметры транзисторов
5. Системы охлаждения силовых приборов
6. Защита силовых приборов от сверхтоков и перенапряжений
7. Классификация выпрямителей.
8. Однофазные неуправляемые выпрямители
9. Трехфазные неуправляемые выпрямители тока.
10. Основные диаграммы токов и напряжений.
11. Основные энергетические показатели.
12. Работа трехфазного мостового выпрямителя в режиме 2-3.
13. Процесс коммутации тока.
14. Выпрямленное напряжение.
15. Внешние характеристики выпрямителя.
16. Гармонические составляющие в выпрямленном напряжении и первичном токе.
17. КПД и коэффициент мощности управляемого выпрямителя.
18. Перевод преобразователя в инверторный режим.
19. Коммутация тока в инверторе.
20. Аварийные режимы инвертора
21. Внешние характеристики инвертора.
22. Энергетические показатели инвертора
23. Однофазный мостовой автономный инвертор напряжения (АИН).
24. Однофазный мостовой автономный инвертор тока (АИТ).
25. Регулирование величины и формы напряжения в АИН.
26. Трехфазный АИН.
27. Преобразователи частоты с непосредственной связью.
28. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока.
29. Тиристорные контакторы переменного тока
30. Тиристорные контакторы постоянного тока

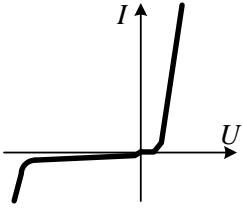
### 6.2.2. Примерные тестовые задания к дифференцированному зачету

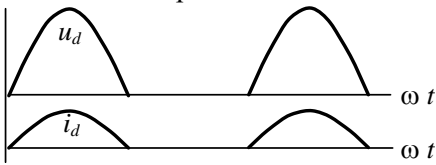
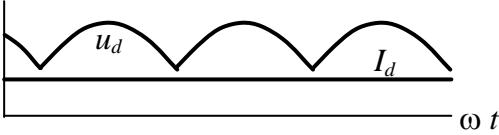
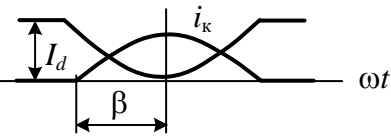
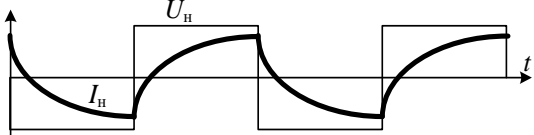
№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
Вариант 1		
1	Частота основной гармоники выпрямленного напряжения в трехфазной нулевой схеме ...	1. 50 Гц. 2. 100 Гц 3. 300 Гц 4. 150 Гц
2	Коэффициент пульсаций $k_{\pi} = \frac{\pi}{2}$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме.


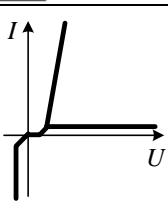
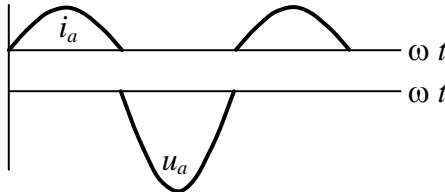
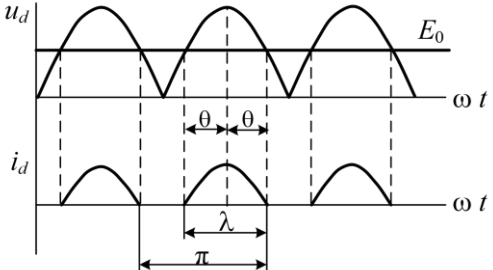


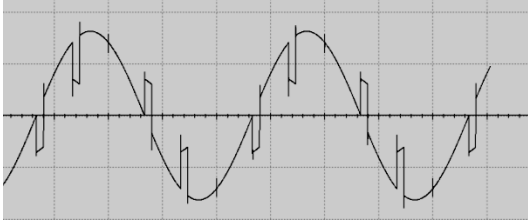
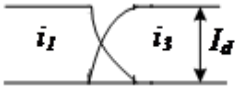
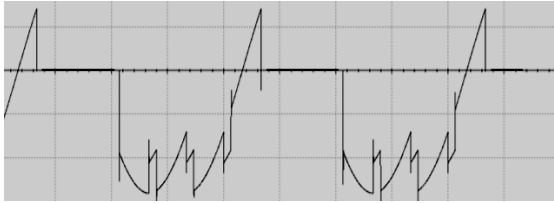
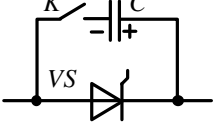
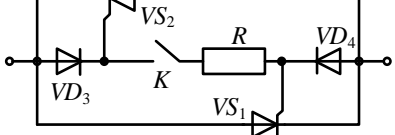
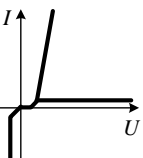
№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		4. В однофазной однополупериодной схеме.
3	<p>На рис. показана схема ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тиристорного ключа.</li> <li>2. Тиристорного контактора постоянного тока.</li> <li>3. Однофазного автономного инвертора напряжения.</li> <li>4. Тиристорного контактора переменного тока.</li> </ol>
4	<p>Среднее значение выпрямленного напряжения ...</p> $U_{d0} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t \cdot d\omega t = 0,9U$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>
1	2	3
5	<p>На рис. показана ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Реальная ВАХ любого силового вентиля.</li> <li>2. Реальная ВАХ IGBT транзистора.</li> <li>3. Реальная ВАХ тиристора.</li> <li>4. Реальная ВАХ диода.</li> </ol>
6	<p>Мощность источника питания выпрямителя <math>S_{\text{и}} = 1,23 P_d</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>
7	<p>На рис. показано ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Линейное напряжение на выходе трехфазного мостового АИН с ШИР.</li> <li>2. Напряжение на входе однофазного мостового выпрямителя.</li> <li>3. Фазное напряжение трехфазного мостового АИН при 180° (широтном) управлении.</li> <li>4. Напряжение на входе трехфазного мостового выпрямителя.</li> </ol>
8	<p>Среднее значение выпрямленного напряжения</p> $U_{d0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t \cdot d\omega t = 0,45U$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>
9	<p>Выпрямленное напряжение и ток ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме <math>L_d = \infty</math>.</li> </ol>
10	<p>Ток и напряжение на входе ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> </ol>
11	В какой схеме коэффициент пульсаций	1. В трехфазной нулевой схеме.


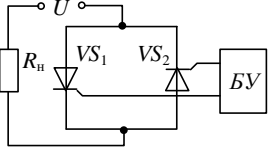
№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
	$K_n \approx 0,06$	2. В трехфазной мостовой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
12	Среднее значение выпрямленного напряжения $U_{d0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \sqrt{2}U \cos \omega t \cdot d\omega t = 1,17U .$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
13	Коэффициент пульсаций $k_n = 0,25$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
14	Выпрямленное напряжение и ток 	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
15	Интервал проводимости вентиля в однофазной однополупериодной схеме неуправляемого выпрямителя ...	1. 60 °.                    2. 180 ° 3. 90 °                    4. 120 °
16	Напряжение и ток на входе ... 	1. В трехфазной мостовой схеме при $L_d = \infty$ . 2. В трехфазной нулевой схеме при $L_d = \infty$ . 3. В однофазной мостовой схеме при $L_d = \infty$ . 4. В однофазной однополупериодной схеме при $L_d = \infty$ .
17	Коэффициент пульсаций $k_n = 0,67$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
18	Среднее значение выпрямленного напряжения $U_{d0} = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{2}\sqrt{3}U \cos \omega t \cdot d\omega t = 2,34U$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме. (U – действующее фазное напряжение источника)
19	Мощность источника питания выпрямителя $S_n = 1,045 P_d$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
20	Выпрямленное напряжение и ток ... 	1. В трехфазной мостовой схеме при $L_d = \infty$ . 2. В трехфазной нулевой схеме при $L_d = \infty$ . 3. В однофазной мостовой схеме при $L_d = \infty$ . 4. В однофазной однополупериодной схеме при $L_d = \infty$ .
Вариант 2		
1	Назначение защитных RC-цепей в вентильных преобразователях ...	1. Защита вентилях от токов КЗ. 2. Защита вентилях от перегрева

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		полупроводниковой структуры. 3. Защита вентилях от токовых перегрузок 4. Защита вентилях от коммутационных перенапряжений.
2	На рис. показана ... 	1. Реальная ВАХ любого силового вентиля. 2. Реальная ВАХ IGBT транзистора. 3. Реальная ВАХ тиристора. 4. Реальная ВАХ диода.
3	Уравнение внешних характеристик трехфазного мостового выпрямителя ...	1. $U_d = U_{d0} \cos \alpha + \frac{3}{\pi} X_a I_d.$ 2. $U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_a I_d.$ 3. $U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{\pi}{3} X_a I_d.$ 4. $U_d = U_{d0} \sin \alpha - \frac{3}{\pi} X_a I_d.$
4	В какой схеме среднее значение выпрямленного напряжения $U_{d0} \approx 0,9U$ ( $U$ – действующее фазное напряжение источника)	1. В трехфазной нулевой схеме. 2. В трехфазной мостовой схеме. 3. В однофазной однополупериодной схеме. 4. В однофазной мостовой схеме.
5	Частота основной гармоники выпрямленного напряжения в однофазной однополупериодной схеме	1. 50 Гц. 2. 100 Гц 3. 300 Гц 4. 150 Гц
6	Ток, потребляемый из сети трехфазным мостовым выпрямителем, содержит ряд высших гармоник, номера которых при $n = 2, 3, 4, \dots$	1. $k = 3n \pm 1.$ 2. $k = 3n.$ 3. $k = 6n.$ 4. $k = 2n \pm 1.$
7	Коэффициент мощности выпрямителя ... ( $I_1$ и $\varphi_1$ – ток и угол 1-й гармоники)	1. $K = \frac{I_1}{I} \sin \varphi_1.$ 2. $K = \frac{I_1}{I} \cos \varphi_1.$ 3. $K = \frac{I}{I_1} \cos \varphi_1.$ 4. $K = \frac{I_1}{I} \operatorname{tg} \varphi_1.$
8	Угол между напряжением и первой гармоникой тока на входе трехфазного мостового выпрямителя ...	1. $\varphi_1 = \alpha - \frac{\gamma}{2}.$ 2. $\varphi_1 = \alpha + \frac{\gamma}{2}.$ 3. $\varphi_1 = \gamma + \frac{\alpha}{2}.$ 4. $\varphi_1 = \alpha + \gamma.$
9	Вентильный преобразователь перейдет из выпрямительного режима в инверторный при ...	1. $\gamma > 60^\circ$ 2. $\alpha + \gamma < 90^\circ$ 3. $\alpha > 90^\circ$

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		4. $\alpha / \gamma < 1$
10	Выпрямленное напряжение и ток ... 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>
11	Коэффициент пульсаций для многофазных схем ... ( $m$ – пульсность схемы)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>k_{\Pi} = \frac{2}{m^2 + 1}</math>.</li> <li>2. <math>k_{\Pi} = \frac{1}{m^2 - 1}</math>.</li> <li>3. <math>k_{\Pi} = \frac{2}{m - 1}</math>.</li> <li>4. <math>k_{\Pi} = \frac{2}{m^2 - 1}</math>.</li> </ol>
12	Выпрямленное напряжение и ток ... 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме при <math>L_d = \infty</math>.</li> </ol>
13	Рис. показывает ... 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коммутацию тока в выпрямителе.</li> <li>2. Коммутацию тока в инверторе.</li> <li>3. Опрокидывание инвертора.</li> <li>4. Срыв коммутации в инверторе.</li> </ol>
14	Уравнение внешних характеристик инвертора ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>U_d = U_{d0} \cos \beta - \frac{3}{\pi} X_a I_d</math>.</li> <li>2. <math>U_d = U_{d0} \cos \beta + \frac{3}{\pi} X_a I_d</math>.</li> <li>3. <math>U_d = U_{d0} \cos \beta + 3\pi X_a I_d</math>.</li> <li>4. <math>U_d = U_{d0} \cos \beta + \frac{\pi}{3} X_a I_d</math>.</li> </ol>
15	В какой схеме коэффициент пульсаций $K_{\Pi} \approx 0,25$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>
16	На рис. показаны ... 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Напряжение и ток в активно-индуктивной нагрузке при широтном управлении однофазным АИН.</li> <li>2. Напряжение и ток в активно-индуктивной нагрузке однофазного мостового выпрямителя.</li> <li>3. Напряжение и ток в активно-индуктивной нагрузке инвертора, ведомого сетью.</li> <li>4. Напряжение и ток в активно-индуктивной нагрузке, подключенной через тиристорный контактор.</li> </ol>
17	Действующее значение выпрямленного тока $I_{d \text{ э}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_{d m}^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_d$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>
18	Рис. показывает ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коммутацию тока в выпрямителе.</li> <li>2. Коммутацию тока в инверторе.</li> </ol>

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		3. Опрокидывание инвертора. 4. Срыв коммутации в инверторе.
19	 <p>На рис. показана ...</p>	1. Реальная ВАХ любого силового вентиля. 2. Реальная ВАХ транзистора. 3. Реальная ВАХ тиристора. 4. Реальная ВАХ диода.
20	<p>Ток и напряжение вентиля ...</p> 	1. В трехфазной мостовой схеме при $L_d = 0$ . 2. В трехфазной нулевой схеме при $L_d = 0$ . 3. В однофазной мостовой схеме при $L_d = 0$ . 4. Однофазного АИН при широте управления.
Вариант 3		
1	<p>Действующее значение выпрямленного тока ...</p> $I_{d\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_{dm}^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_d .$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
2	<p>Частота основной гармоника выпрямленного напряжения в однофазной мостовой схеме ...</p>	1. 50 Гц. 2. 100 Гц 3. 300 Гц 4. 150 Гц
3	<p>Уравнение внешних характеристик трехфазного мостового выпрямителя ...</p>	1. $U_d = U_{d0} \cos \alpha + \frac{3}{\pi} X_a I_d .$ 2. $U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_a I_d .$ 3. $U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{\pi}{3} X_a I_d .$ 4. $U_d = U_{d0} \sin \alpha - \frac{3}{\pi} X_a I_d .$
4	<p>КПД выпрямительной установки составляет ...</p>	1. $\approx 0,95$ 2. $\approx 0,9$ . 3. $\approx 0,85$ .                      4. $\approx 0,8$ .
5	 <p>На рис. показана</p>	1. Работа однофазного мостового выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку. 2. Работа однофазного мостового выпрямителя на активно-емкостную нагрузку. 3. Работа однофазного мостового выпрямителя на противоЭДС. 4. Работа однофазного мостового выпрямителя на индуктивно-емкостную нагрузку.
6	<p>При каком условии трехфазная мостовая схема перейдет из режима 2-3 в режим 3-4</p>	1. При угле выключения $\delta < 15^\circ$ . 2. При угле регулирования $\alpha > 90^\circ$ . 3. При угле коммутации $\gamma > 60^\circ$ . 4. При угле регулирования $\beta > 90^\circ$ .

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
7	В какой схеме среднее значение выпрямленного напряжения $U_{d0} \approx 2,35U$ ( $U$ – действующее фазное напряжение источника)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>2. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>3. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>
8	Высокочастотные вентили работают в диапазоне частот ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Более 10 кГц.</li> <li>2. Более 1 кГц.</li> <li>3. Более 100 кГц.</li> <li>4. Более 100 Гц.</li> </ol>
9	 <p>На рис. показана</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Осциллограмма напряжения на вентиле в трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. Осциллограмма напряжения на входе в трехфазной мостовой схеме.</li> <li>3. Осциллограмма напряжения на вентиле в трехфазной нулевой схеме.</li> <li>4. Осциллограмма напряжения на входе в трехфазной нулевой схеме.</li> </ol>
10	<p>Рис. показывает ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коммутацию тока в выпрямителе.</li> <li>2. Коммутацию тока в инверторе.</li> <li>3. Опрокидывание инвертора.</li> <li>4. Срыв коммутации в инверторе.</li> </ol>
11	 <p>На рис. показана</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Осциллограмма напряжения на вентиле в трехфазной мостовой схеме.</li> <li>2. Осциллограмма напряжения на входе в трехфазной мостовой схеме.</li> <li>3. Осциллограмма напряжения на вентиле в трехфазной нулевой схеме.</li> <li>4. Осциллограмма напряжения на входе в трехфазной нулевой схеме.</li> </ol>
12	<p>На рис. показана схема ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Искусственной коммутации предварительно заряженным конденсатором.</li> <li>2. Управляемого однофазного выпрямителя.</li> <li>3. Защиты тиристора от перенапряжений.</li> <li>4. Тиристорного ключа.</li> </ol>
13	<p>На рис. показана схема ...</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тиристорного контактора переменного тока.</li> <li>2. Тиристорного ключа.</li> <li>3. Тиристорного контактора постоянного тока.</li> <li>4. Однофазного мостового выпрямителя.</li> </ol>
14	 <p>На рис. показана ...</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Реальная ВАХ любого силового вентиля.</li> <li>2. Реальная ВАХ транзистора.</li> <li>3. Реальная ВАХ тиристора.</li> <li>4. Реальная ВАХ диода.</li> </ol>
15	КПД выпрямительной установки составляет ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\approx 0,95</math>.</li> <li>2. <math>\approx 0,9</math>.</li> <li>3. <math>\approx 0,85</math>.</li> <li>4. <math>\approx 0,8</math>.</li> </ol>
16	В какой схеме мощность источника $S_n \approx 1,23P_d$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В однофазной мостовой схеме.</li> <li>2. В трехфазной нулевой схеме.</li> <li>3. В трехфазной мостовой схеме.</li> <li>4. В однофазной однополупериодной схеме.</li> </ol>

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
17	 На рис. показан ...	1. Диод. 2. Тиристор. 3. IGBT транзистор. 4. Ртутный вентиль.
18	Управляемый трехфазный мостовой преобразователь работает в режиме короткого замыкания при ...	1. $\alpha - \frac{\gamma}{2} = \frac{\pi}{2}$ .      2. $\alpha + \frac{\gamma}{2} = \frac{\pi}{2}$ . 3. $\alpha + \frac{\gamma}{2} = \pi$ .      4. $\gamma + \frac{\alpha}{2} = \frac{\pi}{2}$ .
19	Коэффициент пульсаций $k_{\pi} = 0,67$	1. В трехфазной мостовой схеме. 2. В трехфазной нулевой схеме. 3. В однофазной мостовой схеме. 4. В однофазной однополупериодной схеме.
20	На рис. показана схема ... 	1. Тиристорного ключа. 2. Тиристорного контактора постоянного тока. 3. Однофазного автономного инвертора напряжения. 4. Тиристорного контактора переменного тока.

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (дифф. зачета)

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных, практических и лабораторных занятий	Посещение не менее 60% лекционных, практических и лабораторных занятий	Посещение не менее 70 % лекционных, практических и лабораторных занятий	Посещение не менее 85 % лекционных, практических и лабораторных занятий
Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Иногда находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Безошибочно находит решения предусмотренных программой обучения заданий

<b>Оценка</b>			
<b>«2» (неудовлетворительно)</b>	<b>Пороговый уровень освоения</b>	<b>Углубленный уровень освоения</b>	<b>Продвинутый уровень освоения</b>
	<b>«3» (удовлетворительно)</b>	<b>«4» (хорошо)</b>	<b>«5» (отлично)</b>
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены



**Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:**

<b>Количество правильных ответов, %</b>	<b>Оценка</b>
0-50	Неудовлетворительно
51-65	Удовлетворительно
66-85	Хорошо
86-100	Отлично

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **7.1. Рекомендуемая литература**

#### **7.1.1. Основная литература**

1. Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.

URL: [https://elprivod.nmu.org.ua/files/converters/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD\\_%D0%9F%D0%A2.pdf](https://elprivod.nmu.org.ua/files/converters/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD_%D0%9F%D0%A2.pdf) (дата обращения 14.09.2020).

#### **7.1.2. Дополнительная литература**

2. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 396 с.

URL: [http://techlibrary.ru/b/2p1j1o1p1c2d1f1c\\_2k.2z.\\_2w1s1o1p1c2c\\_1s1j1m1p1c1p1k\\_2e1m1f1l1t1r1p1o1j1l1j.\\_3f1a1s1t2d\\_1.\\_1999.pdf](http://techlibrary.ru/b/2p1j1o1p1c2d1f1c_2k.2z._2w1s1o1p1c2c_1s1j1m1p1c1p1k_2e1m1f1l1t1r1p1o1j1l1j._3f1a1s1t2d_1._1999.pdf) (дата обращения 14.09.2020).

3. Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов / Под ред. Ю. К. Розанова. – 2-е изд. – М.: Информэлектро, 2001. – 420 с.

URL: [https://www.texenergo.ru/publication/biblioteka\\_elektrotehnika/rozanov\\_yu\\_k\\_elektricheskie\\_i\\_elektronnye\\_apparaty/](https://www.texenergo.ru/publication/biblioteka_elektrotehnika/rozanov_yu_k_elektricheskie_i_elektronnye_apparaty/) (дата обращения 14.09.2020).

#### **7.1.3. Учебно-методическое обеспечение**

Силовая электроника: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. В.Н. Костин. СПб, 2017 – 38 с.

URL: [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_staticreq&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=%D0%9C%2D372901<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_staticreq&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%D0%9C%2D372901<.>) (дата обращения 14.09.2020).

### **7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

Электронный журнал «Силовая электроника»

<http://www.power-e.ru/>

Школа для электрика. Основы электроники

<http://electricalschool.info/electronica/1793-silovaja-jelektronika.html>

### **7.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента**

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий**

#### **8.1.1. Аудитории для проведения лекционных занятий**

Аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы. Для наиболее наглядного и эффективного представления теоретического материала при чтении лекций используются презентации, реализованные в программной среде *Microsoft Office Power Point*.

Лекционные аудитории рассчитаны на одну группу студентов и включают в себя:

- посадочное место (стол и стул) преподавателя;
- не менее 12-15 посадочных мест для студентов;
- настенную доску;
- переносную настольную трибуну;
- стационарную или переносную мультимедийную аппаратуру.

### **8.1.2. Аудитории для проведения практических занятий.**

Аудитории для практических занятий рассчитаны на одну группу студентов и включают в себя:

- посадочное место (стол и стул) преподавателя;
- не менее 12-15 посадочных мест для студентов;
- настенную доску;
- переносную настольную трибуну.

### **8.1.3. Аудитории для проведения лабораторных занятий.**

Аудитории для лабораторных занятий рассчитаны на одну подгруппу студентов и включают в себя:

- посадочное место (стол и стул) преподавателя;
- не менее 12-15 посадочных мест с персональными компьютерами для студентов;
- настенную доску.

## **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011,

Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012, Kaspersky antivirus 6.0.4.142

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Операционная система Microsoft Windows XP Professional ГК №797-09/09 от 14.09.09 «На поставку компьютерного оборудования».

Операционная система Microsoft Windows 7 Professional Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011.

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional:

Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011.

Microsoft Office 2007 Professional Plus: Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010.

CorelDRAW Graphics Suite X5.

Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product key: 766H1

Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMath Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО)

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint

2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стулья – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security .

### **8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011).