

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИнЭО

\_\_\_\_\_ С.И. Качин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

## **СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ**

Методические указания и индивидуальные задания  
для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению  
13.03.02 (140400) “Электроэнергетика и электротехника”  
профиль «Электроэнергетика»

*Составитель И.О. Муравлев*

<b>Семестр</b>	<b>9</b>
Кредиты	6
Лекции, часов	12
Лабораторные занятия, часов	8
Практические занятия, часов	6
Консультации по выполнению курсовой работы, часов	6
Индивидуальные задания	–
Самостоятельная работа, часов	130
Формы контроля	экзамен диф. зачет

Издательство

Томского политехнического университета

2014

УДК 658.26:621.34.632(075.8)

Силовые преобразователи в электроснабжении: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 140400 “Электроэнергетика и электротехника”, профиль «Электроэнергетика» / сост. И.О. Муравлев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 22 с.

Методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры Электроснабжения промышленных предприятий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 года, протокол № \_\_.

И.О. Зав. кафедрой ЭПП,  
профессор, доктор техн. наук \_\_\_\_\_ В.М. Завьялов

#### **Аннотация**

Методические указания и индивидуальные задания по дисциплине «Силовые преобразователи в электроснабжении» предназначены для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 140400 “Электроэнергетика и электротехника” профиль «Электроэнергетика». Данная дисциплина изучается в одном семестре.

Приведено содержание основных тем дисциплины, указаны темы практических занятий. Приведены варианты курсовой работы. Даны методические указания по выполнению курсовой работы.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....	4
2. Содержание теоретического раздела дисциплины .....	6
3. Содержание практического раздела дисциплины .....	14
3.1. Тематика практических занятий.....	14
3.1. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме.....	15
3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением ДОТ ..	17
4. Курсовая работа .....	19
4.1. Методические указания по выполнению курсовой работы .....	19
4.2. Выбор варианта курсовой работы .....	20
5. Промежуточный КОНТРОЛЬ.....	23
5.1. Вопросы для подготовки к экзамену .....	23
5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме.....	26
5.3. Образцы вопросов экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно .....	26
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	32
6.1. Литература обязательная .....	32
6.2. Литература дополнительная .....	32
6.3. Интернет-ресурсы .....	33
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	34
ПОДГОТОВКА, ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАЩИТА РЕФЕРАТА.....	34

## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Силовые преобразователи в электроснабжении» входит в профессиональную вариативную часть дисциплин Б3.В1. Электроснабжение промышленных предприятий.

Основными целями дисциплины являются: формирование у студентов прочной теоретической базы по анализу, применению, расчету силовых преобразователей в электроэнергетических системах.

В результате освоения данной дисциплины обеспечивается достижение целей основной образовательной программы «Электроэнергетика и электротехника»; приобретенные знания, умения и навыки позволят подготовить выпускника обладающего общенаучными и инженерными знаниями необходимыми для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем, практическими навыками и компетенциями, гарантирующими высокое качество их подготовки к профессиональной деятельности в области электроэнергетики и электротехники, способного проявлять независимость мышления, творческий подход к решению инженерных проблем связанных с определением параметров и характеристик силовых преобразователей, работать в приоритетных направлениях развития электроэнергетики и электротехники, проявлять высокий профессионализм в решении инженерных проблем в области проектирования силовых преобразователей электрической энергии.

Для полноценного усвоения дисциплины большое значение имеют знания, умения, навыки и компетенции, приобретенные студентами, при изучении следующих дисциплин: Физика, Физические основы электроники, Теоретические основы электротехники, Электроснабжение.

Для успешного освоения дисциплины студенты **должны знать:**

- ✓ состояние и современные тенденции развития технического прогресса в области электротехники и электроэнергетики в индустриально развитых странах
- ✓ технические условия проектных разработок простых конструкций электротехнических устройств, объектов электроэнергетики схем электроснабжения городов и предприятий
- ✓ инструментарий для решения задач проектного и исследовательского характера в сфере профессиональной деятельности по электроэнергетике и электротехнике
- ✓ выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах различной физической природы и выполнять применительно к ним простые технические расчеты

- ✓ применять компьютерную технику и информационные технологии в своей профессиональной деятельности
- ✓ рассчитывать режимы работы электроэнергетических и электротехнических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических и электротехнических объектов
- ✓ анализ физических явлений в электрических устройствах, объектах и системах
- ✓ работа с документацией, стандартами, патентами и другими источниками отечественной и зарубежной научно-технической информации
- ✓ использование современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области
- ✓ использование прикладных программ и средств автоматизированного проектирования при решении инженерных задач электроэнергетики и электротехники

**Иметь навыки:**

- ✓ Применять инженерные знания для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
- ✓ Уметь формулировать задачи в области силовых преобразователей, анализировать их и решать с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
- ✓ Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
- ✓ Уметь планировать и проводить экспериментальные исследования, связанные с определением параметров и характеристик силовых преобразователей, интерпретировать данные и делать выводы.
- ✓ Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.

Пререквизитами данной дисциплины являются: Физические основы электроники, Теоретические основы электротехники

Кореквизиты: Системы автоматического управления электроэнергетическими объектами предприятий.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Раздел 1. Вводное занятие (2 часа)**

Цели и задачи курса. Задание по курсовому проектированию, особенности расчета режимов работы выпрямителя.

**Рекомендуемая литература:** [2].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить роль и значение силовых преобразователей, особенности расчета режимов работы выпрямителя. Обратит внимание на тепловые расчеты полупроводников. Изучить системы фазового управления тиристорами. Рассмотреть силовые тиристоры различных фирм, которые могут применяться в мощных силовых преобразователях.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Роль и значение силовых преобразователей.
2. Какие фирмы выпускают силовые тиристоры.
3. Зачем выполняются тепловые расчеты.
4. Как работает управляемый выпрямитель.
5. Регулирование напряжения с помощью управляемого выпрямителя.

### **Раздел 2. Роль и значение силовых преобразователей в современной электротехнике и энергетике (1 час)**

Роль и значение силовых преобразователей в современной электротехнике и энергетике. Классификация вентильных преобразователей.

**Рекомендуемая литература:** [1].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить роль и значение силовых преобразователей в современной энергетике. Особенности назначения различных преобразователей. Использование преобразователей в энергетике.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Классификация вентильных преобразователей.

2. Назначение различных преобразователей.
3. Схемотехника получения переменного тока из постоянного.
4. Схемотехника получения постоянного тока из переменного.
5. Преобразователи для изменения выходной частоты.

### **Раздел 3. Силовые полупроводниковые приборы (1 час)**

Классификация силовых полупроводниковых приборов (СПП). Характеристики и параметры СПП: диодов, тиристоров. Основы теплового расчета СПП. Групповое соединение полупроводниковых приборов. Способы формирования управляющих сигналов для тиристоров. Способы фазового регулирования тиристорных устройств. Естественная и искусственная коммутация тиристоров, основные схемы искусственной коммутации.

**Рекомендуемая литература:** [1].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить существующие полупроводниковые приборы. Характеристики полупроводниковых приборов. Особенности включения и выключения полупроводников. Устройства управления. Изучить соединение полупроводников при параллельном и последовательном соединении. Изучить способы фазового регулирования. Изучить схемы искусственной коммутации тиристоров.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода. Принцип и смысл линеаризации ВАХ
2. Схема замещения полупроводникового вентиля. Порядок параметров в схеме замещения.
3. Когда используется групповое соединение вентиля. Способы выравнивания токов и напряжений при групповом соединении.
4. Изобразить и объяснить вольт-амперную характеристику тиристора.
5. Тепловые параметры силовых полупроводниковых приборов в статических и динамических режимах, как они определяются.
6. Система параметров силовых полупроводниковых приборов. Пределно допустимые и характеризующие параметры.
7. Условия запираания и отпираания тиристоров. Понятие естественной и искусственной коммутации.

8. По каким параметрам выбирается вентиль. Как рассчитывается режим его работы.
9. Диаграмма управления тиристора. Зависимость длительности управляющего сигнала от его амплитуды.
10. Способы формирования управляющих сигналов для тиристоров, их достоинства и недостатки.
11. Остаточные параметры тиристорного ключа, их порядок.

#### **Раздел 4. Преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение (1 час)**

Преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение: понижающего типа, повышающего типа; инвертирующего типа.

**Рекомендуемая литература:** [3,5,7,8].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить работу преобразователей постоянного напряжения в постоянное. Рассмотреть особенности строения преобразователей при повышении напряжения. Рассмотреть особенности строения преобразователей при понижении напряжения. Преобразователи инвертирующего типа.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Приведите структурную схему преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение.
2. Принципы работы преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение.
3. Классификация преобразователей постоянного напряжения в постоянное.
4. Схемотехника преобразователей постоянного напряжения в постоянное напряжение.
5. Элементная база для построения преобразователей постоянного напряжения в постоянное напряжение.

#### **Раздел 5. Выпрямители (2 часа)**

Классификация, принцип действия выпрямителя, работающего на

нагрузку различного характера. Силовые выпрямители с нулевой точкой. Физические процессы работы выпрямителя на нагрузку активно-индуктивного характера с питанием от сети соизмеримой мощности. Трехфазный управляемый мостовой преобразователь. Энергетические характеристики. Гармонические составляющие кривых токов и напряжений питающей сети. Качество напряжения, питающего выпрямитель. Специальные схемы выпрямителей с уменьшенными пульсациями выпрямленного напряжения и улучшенным коэффициентом мощности. Компенсированные выпрямители. Инверторный режим управляемого выпрямителя, внешние характеристики. Области применения выпрямителей в системах электроснабжения предприятий.

**Рекомендуемая литература: [1].**

### **Методические указания**

Необходимо изучить работу различных схем выпрямления. Особенности их работы на активно-индуктивную нагрузку. Схемотехника специальных выпрямителей. Режим рекуперации. Применение выпрямителей в энергосистемах.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Назначение, основные элементы, классификация, эксплуатационные характеристики выпрямителей
2. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя
3. Особенности работы выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку. Временные диаграммы токов и напряжений однофазного однополупериодного выпрямителя, работающего на активно-индуктивную нагрузку
4. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя
5. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного мостового неуправляемого выпрямителя
6. Коммутационные процессы в выпрямителе. Величина угла коммутации
7. Понятие о коэффициентах преобразования выпрямителя по току и напряжению и коэффициенте использования мощности трансформатора. От чего они зависят.

8. Схема, достоинства и недостатки трехфазного нулевого неуправляемого выпрямителя
9. Схема, достоинства и недостатки трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя
10. Схема, временные диаграммы токов и напряжений однофазного нулевого управляемого выпрямителя
11. Внешняя и регулировочная характеристики выпрямителей, их вид, от чего зависят.
12. Назначение и схема включения шунтирующего диода в однофазном нулевом управляемом выпрямителе.
13. Как влияют угол коммутации и угол управления тиристорами на использование мощности питающего трансформатора
14. Как влияет характер нагрузки на форму выпрямленного и фазных токов трансформатора
15. Какие общепринятые допущения принимают при анализе электромагнитных процессов в выпрямителе и почему
16. Структурная схема и временные диаграммы системы вертикального управления управляющего сигнала для тиристора

## **Раздел 6. Регуляторы и коммутаторы переменного напряжения (2 часа)**

Основные схемы тиристорных коммутаторов. Характеристики быстродействия и области применения коммутаторов. Способы построения тиристорных усилителей: широтно-импульсная модуляция и фазовое регулирование. Характеристики основных типов усилителей. Фазорегулируемый усилитель с активной нагрузкой. Физические процессы, энергетические характеристики, гармонический состав токов и напряжений. Влияние фазорегулируемого тиристорного преобразователя на питающую сеть.

**Рекомендуемая литература:** [1].

### **Методические указания**

Необходимо изучить схемы коммутаторов. Способы управления тиристорами в них. Изучить особенности широтно-импульсной модуляции. Изучить особенности фазового регулирования. Как влияет работа фазорегулируемого тиристорного преобразователя на питающую сеть и гармонический состав токов и напряжений.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Достоинства и недостатки тиристорных коммутаторов. Классификация тиристорных коммутаторов.
2. Основные принципы построения и режимы работы тиристорных усилителей.
3. Основные способы фазового регулирования углов включения тиристоров.
4. Гармонический состав токов и напряжений тиристорного регулятора с фазовым регулированием, от чего он зависит.
5. Влияние характера нагрузки на форму тока в фазорегулируемом тиристорном усилителе.
6. Какими факторами определяется быстродействие тиристорного коммутатора с естественной и искусственной коммутацией вентилей.

### **Раздел 7. Инверторы и преобразователи частоты (2 часа)**

Преобразователи частоты с непосредственной связью и естественной коммутацией. Основные характеристики. Особенности преобразователей частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией вентилей. Выпрямительно-инверторные преобразователи частоты. Автономные инверторы тока и напряжения. Однофазные и трехфазные инверторы. Гармонический состав выходного напряжения автономного инвертора. Частотно-регулируемый электропривод.

**Рекомендуемая литература:** [1].

### **Методические указания**

Необходимо изучить работу преобразователей частоты с непосредственной связью. Изучить работу преобразователей частоты с естественной коммутацией. Характеристики и схемные решения для преобразователей частоты. Изучить сетевые и автономные инвертора. Особенности работы частотно-регулируемого электропривода.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Назначение, классификация статических преобразователей частоты. Достоинства и недостатки различных вариантов СПЧ.
2. Приведите пример схемного выполнения непосредственного преобразователя с естественной коммутацией вентилей. Объясните принцип его работы.

3. Приведите пример схемного выполнения непосредственного преобразователя с искусственной коммутацией вентилей. Объясните принцип его работы.
4. Структурная схема выпрямительно-инверторных преобразователей частоты, их достоинства и недостатки.
5. Принципиальная электрическая схема, принцип работы, временные диаграммы инвертора напряжения.
6. Принципиальная электрическая схема, принцип работы, временные диаграммы инвертора тока.
7. Схема трехфазного автономного инвертора. Принцип формирования кривой выходного напряжения.
8. Основные способы повышения качества выходного напряжения автономных инверторов
9. Векторный способ синтеза синусоиды выходного напряжения автономных инверторов
10. Широтно-импульсная модуляция прямоугольного напряжения (одно- и двухполярная модуляция)
11. Основные способы регулирования величины вых. напряжения автономных инверторов
12. Регулирование выходного напряжения инвертора с помощью геометрического суммирования напряжений

### **Раздел 7. Фильтры высших гармоник (1 час)**

Емкостной фильтр. Индуктивный фильтр. Сложные R, L, C - фильтры. Резонансные фильтры. Электронные фильтры. Сетевые фильтро-компенсирующие устройства.

**Рекомендуемая литература:** [1].

### **Методические указания**

Необходимо изучить работу сглаживающих фильтров. Необходимо изучить работу фильтров гармоник. Схемные решения фильтров. Электронные фильтры. Работа фильтров пробок. Изучить работу сетевых фильтро-компенсирующих устройств.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Назначение и основные характеристики сглаживающих фильтров. Коэффициенты сглаживания и фильтрации. Классификация фильтров.
2. Схема, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки емкостных фильтров.
3. Схема, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки индуктивных фильтров.
4. Принципы построения, достоинства и недостатки сложных многозвенных и резонансных фильтров.
5. Основные схемы построения, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки электронных фильтров.

### **3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **3.1. Тематика практических занятий**

В данном разделе приведены темы практических занятий по дисциплине «Силовые преобразователи в электроснабжении».

При проведении занятий преподаватель выбирает три темы на свое усмотрение.

##### **Тема 1. Силовые полупроводниковые приборы (2 часа)**

1. Вольтамперные характеристики диодов и тиристоров. Схемы замещения силовых полупроводниковых приборов.
2. Расчет потерь в силовых полупроводниковых приборах. Расчет тепловых режимов.

**Рекомендуемая литература:** [1].

##### **Тема 2. Преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение (2 часа)**

3. Расчет рабочих режимов преобразователей постоянного напряжения в постоянное напряжение.

**Рекомендуемая литература:** [3,5,7,8].

##### **Тема 3. Выпрямители (2 часа)**

4. Классификация, принцип действия выпрямителя, работающего на нагрузку различного характера.
5. Трехфазный управляемый мостовой преобразователь. Энергетические характеристики. Гармонические составляющие кривых токов и напряжений питающей сети. Качество напряжения, питающего выпрямитель.
6. Инверторный режим управляемого выпрямителя, внешние характеристики.

**Рекомендуемая литература:** [1].

##### **Тема 4. Регуляторы и коммутаторы переменного напряжения (2 часа)**

7. Тиристорные однофазные и трехфазные регуляторы переменного напряжения.
8. Расчет тиристорного трехфазного реверсивного пускателя.

**Рекомендуемая литература:** [1].

#### **Тема 4. Инверторы и преобразователи частоты (2 часа)**

9. Выпрямительно-инверторные преобразователи частоты. Автономные инверторы тока и напряжения. Однофазные и трехфазные инверторы. Гармонический состав выходного напряжения автономного инвертора.

**Рекомендуемая литература:** [1].

#### **3.1. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме**

Лабораторный практикум является составной частью учебного процесса по данной дисциплине.

Целью лабораторных работ, является изучение особенностей работы, параметров и характеристик основных типов полупроводниковых приборов. Лабораторные работы призваны закрепить теоретические знания по изучаемому курсу.

В данном разделе приведен перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме (КЗФ).

Лабораторные работы проходят во время сессии и выполняются на лабораторных стендах, которые имеют источник питания с различной формой сигнала, активное поле включения аналоговых элементов, набор таких элементов с определенным номиналом, блок мультиметров и электронный осциллограф. Для каждой работы предусмотрены методические указания по ее выполнению, контрольные вопросы и требования к оформлению отчета.

На 1 лабораторную работу отводится 4 часа.

Студенты выполняют 2 лабораторные работы из 6 по заданию преподавателя.

**Рекомендуемая литература:** [4].

#### **Лабораторная работа №1**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

Цель работы: Исследование внешней и энергетических характеристик однофазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом без учета коммутации.

#### **Лабораторная работа №2**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

Цель работы: Исследование трехфазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку, шунтированную обратным диодом. Исследование внешней и энергетических характеристик с учетом и без учета коммутации.

**Лабораторная работа №3**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО**  
**УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

Цель работы: Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-е.д.с. и с обратным диодом. Исследование внешней, регулировочной и энергетических характеристик. Определение гармонического состава тока потребления однофазного управляемого выпрямителя.

**Лабораторная работа №4**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО**  
**МОСТОВОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**  
**В РЕЖИМАХ ВЫПРЯМЛЕНИЯ И ИНВЕРТИРОВАНИЯ**

Цель работы: Исследование трехфазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с., в режиме выпрямления и инвертирования (инвертор ведомый сетью). Исследование внешней, энергетических и регулировочных характеристик. Определение гармонического состава тока потребления трехфазного управляемого выпрямителя и тока генерируемого инвертором в сеть.

**Лабораторная работа №5**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВОГО**  
**ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**  
**С СИММЕТРИЧНЫМ ЗАКОНОМ УПРАВЛЕНИЯ**

Цель работы: Исследование регулировочной и энергетических характеристик мостового широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричным законом управления при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с.

**Лабораторная работа №6**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО ИНВЕРТОРА**  
**С СИММЕТРИЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Цель работы: Исследование мостового инвертора с симметричным управлением, с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией при

работе на активно-индуктивную нагрузку. Построение и анализ регулировочной, внешних и энергетических характеристик. Исследование гармонического состава напряжения и тока нагрузки.

### **3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением ДОТ**

В данном разделе приведен перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением дистанционных образовательных технологий.

Лабораторные работы выполняются виртуально с использованием специализированной информационной среды.

**Рекомендуемая литература:** [4].

#### **Лабораторная работа №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

Цель работы: Исследование внешней и энергетических характеристик однофазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с обратным диодом без учета коммутации.

#### **Лабораторная работа №2 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

Цель работы: Исследование трехфазного двухполупериодного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку, шунтированную обратным диодом. Исследование внешней и энергетических характеристик с учетом и без учета коммутации.

#### **Лабораторная работа №3 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ**

Цель работы: Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-е.д.с. и с обратным диодом. Исследование внешней, регулировочной и энергетических характеристик. Определение гармонического состава тока потребления однофазного управляемого выпрямителя.

#### **Лабораторная работа №4**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО  
МОСТОВОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ  
В РЕЖИМАХ ВЫПРЯМЛЕНИЯ И ИНВЕРТИРОВАНИЯ**

Цель работы: Исследование трехфазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с., в режиме выпрямления и инвертирования (инвертор ведомый сетью). Исследование внешней, энергетических и регулировочных характеристик. Определение гармонического состава тока потребления трехфазного управляемого выпрямителя и тока генерируемого инвертором в сеть.

**Лабораторная работа №5  
ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВОГО  
ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ  
С СИММЕТРИЧНЫМ ЗАКОНОМ УПРАВЛЕНИЯ**

Цель работы: Исследование регулировочной и энергетических характеристик мостового широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричным законом управления при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-э.д.с.

**Лабораторная работа №6  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО ИНВЕРТОРА  
С СИММЕТРИЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Цель работы: Исследование мостового инвертора с симметричным управлением, с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией при работе на активно-индуктивную нагрузку. Построение и анализ регулировочной, внешних и энергетических характеристик. Исследование гармонического состава напряжения и тока нагрузки.

## 4. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

### 4.1. Методические указания по выполнению курсового проекта

Учебным планом предусмотрено выполнение курсовой работы в восьмом семестре.

Суть курсовой работы состоит в практическом применении знаний, полученных в курсе «Физические основы электроники», «Теоретические основы электротехники» и некоторых других, для решения задач расчета режимов работы выпрямителя.

Подробные методические указания по выполнению курсового проекта представлены в [2]<sup>1</sup>.

Курсовой проект выполняется после того, как студентами уже изучены физические основы электроники.

Объем курсового проекта планируется из расчета затрат на нее студентами 50 часов. Ориентировочный объем расчетно-пояснительной записки – 20–30 страниц формата А4.

Законченный курсовой проект оформляется в виде пояснительной записки. Пояснительная записка должна соответствовать стандарту СТО ТПУ 2.5.01-2011 «Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления».

Пояснительная записка должна включать в указанной ниже последовательности: титульный лист, задание, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованных источников, приложения.

Основная часть пояснительной записки должна подробно отражать ход и результаты исследования по всем пунктам программы. В ней, однако, не должно быть переписанных текстов из учебников, учебных пособий, монографий или других изданий. Терминология, обозначения и определения должны быть едиными по всей записке и соответствовать общепринятым в научно-технической литературе. Сокращения слов в тексте и подписях под иллюстрациями не допускаются. Все обозначения электрических, механических и других физических величин должны быть приведены в системе СИ.

---

<sup>1</sup> Лукутин Б.В., Муравлев И.О. Силовые преобразователи в электроснабжении. Расчет режимов работы выпрямителя: Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов спец. 140211 «Электроснабжение» ИДО / Сост.– Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 28 с.

Все варианты курсового проекта имеют один и тот же перечень заданий, которые необходимо выполнить. Варианты отличаются элементной базой и параметрами нагрузки.

В процессе выполнения курсового проекта необходимо выполнить следующие задания:

- ✓ составление структурной схемы системы фазового управления выпрямителем;
- ✓ расчет номинального режима работы выпрямителя при угле управления вентилями  $\alpha = 0$ ;
- ✓ построение временных диаграмм работы выпрямителя по расчетным данным и графическое определение пульсаций выпрямленного напряжения для  $\alpha = 0$ ;
- ✓ расчет и построение регулировочной и внешних характеристик выпрямителя для режима номинальной нагрузки;
- ✓ расчет энергетических характеристик выпрямителя:  $K_u$ ,  $K_I$ ,  $K_p$ ,  $\cos \varphi_1$  и определение их зависимости от  $\alpha$ ;
- ✓ расчет гармонического состава и коэффициентов искажения синусоидальности фазных токов и напряжений выпрямителя для номинального режима;
- ✓ расчет баланса мощностей выпрямителя;
- ✓ выбор вентиля выпрямителя и проверка их теплового режима;
- ✓ расчет параметров силового фильтра.

Исходные данные к выполнению курсовой работы представлены в методических указаниях по выполнению курсовой работы по СПЭ [2]<sup>1</sup>.

## 4.2. Выбор варианта курсового проекта

Вариант задания на курсовую работу включает номер данных СПЭ и номер для расчета режимов работы выпрямителя. Номер варианта исходных данных соответствует номеру строки таблицы исходных данных.

Список вариантов для расчета режимов работы выпрямителя СПЭ содержит 30 строк данных и приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

## Варианты СПЭ, подлежащие разработке

№	Сопротивление нагрузки $r_n$ [о. е.]	Индуктивное сопротивление фазы питающего трансформатора $x_\phi$ [о. е.]	Действующее значение фазного напряжения трансформатора [о. е.]	Выпрямленное напряжение фазы вторичной обмотки трансформатора $U_d$ [В]	Номинальный ток нагрузки выпрямителя, соответствующий расчетному в о.е. $I_d$ [А]	Количество вкл./час в повторно-кратковременном режиме (длительность включенного и выключенного состояний считать одинаковыми).
1.	2.6	0.16	1	380	190	490
2.	2.31	0.17	1	110	230	300
3.	2.32	0.11	1	380	150	220
4.	2.33	0.16	1	220	200	60
5.	2.34	0.2	1	6000	47	75
6.	2.35	0.13	1	660	100	600
7.	2.36	0.13	1	220	127	550
8.	2.37	0.14	1	6000	130	120
9.	2.4	0.11	1	220	250	450
10.	2.31	0.11	1	380	240	330
11.	2.32	0.1	1	110	610	210
12.	2.33	0.16	1	220	490	170
13.	2.34	0.14	1	3000	450	370
14.	2.35	0.11	1	660	785	145
15.	2.5	0.15	1	220	150	200
16.	2.36	0.12	1	380	600	105
17.	2.31	0.18	1	2000	21	340
18.	2.32	0.15	1	220	180	400
19.	2.33	0.1	1	5000	97	270
20.	2.34	0.12	1	220	210	290
21.	2.35	0.11	1	660	159	430
22.	2.36	0.13	1	2000	120	150
23.	2.37	0.09	1	660	1300	60
24.	2.32	0.09	1	220	400	40
25.	2.33	0.1	1	1000	20	550
26.	2.34	0.15	1	220	125	490
27.	2.35	0.09	1	1000	1500	100
28.	2.36	0.1	1	380	700	80
29.	2.4	0.11	1	220	650	90
30.	2.34	0.19	1	3000	20	450

**Номер варианта курсового проекта (выбора номера варианта расчета режимов работы выпрямителя согласно табл. 5.1) зависит от двух последних цифр зачетной книжки студента. Если число, составленное из двух последних цифр зачетной книжки, лежит в интервале от 1 до 30, то оно и определяет номер варианта. Если это число лежит в интервале от 31 до 60, то от него следует отнять 30. Полученный результат даст номер варианта. Если число лежит в интервале от 61 до 90, то отнимать следует 60 и т.д. В табл. 4.2 приведены несколько примеров выбора номера варианта для расчета режимов работы выпрямителя СПЭ.**

Таблица 4.2

Примеры определения варианта задания на курсовой проект

<b>Последние цифры номера зачётной книжки</b>	<b>Подлежащий выполнению вариант для расчета режимов работы выпрямителя СПЭ</b>
11	11 вариант
39	$39 - 30 \cdot 1 = 9$ вариант
62	$62 - 30 \cdot 2 = 2$ вариант

**Номер варианта значений параметров берется равным 1, если число, составленное из двух последних цифр зачетной книжки, лежит в интервале от 31 до 60. Номер берется равным 2, если это число лежит в интервале от 61 до 90, и равным 3, если число лежит в интервале от 91 до 100.**

## 5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

После завершения изучения дисциплины студенты сдают экзамен.

К экзамену допускаются только те студенты, у которых зачтен курсовой проект и лабораторные работы.

Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме, приведен в разделе 5.2.

### 5.1. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода. Принцип и смысл линейаризации ВАХ
2. Схема замещения полупроводникового вентиля. Порядок параметров в схеме замещения.
3. Когда используется групповое соединение вентиляей. Способы выравнивания токов и напряжений при групповом соединении.
4. Изобразить и объяснить вольт-амперную характеристику тиристора.
5. Тепловые параметры силовых полупроводниковых приборов в статических и динамических режимах, как они определяются.
6. Система параметров силовых полупроводниковых приборов. Предельно допустимые и характеризующие параметры.
7. Условия запираия и отпираия тиристоров. Понятие естественной и искусственной коммутации.
8. По каким параметрам выбирается вентиль. Как рассчитывается режим его работы.
9. Диаграмма управления тиристора. Зависимость длительности управляющего сигнала от его амплитуды.
10. Способы формирования управляющих сигналов для тиристоров, их достоинства и недостатки.
11. Остаточные параметры тиристорного ключа, их порядок.
12. Достоинства и недостатки тиристорных коммутаторов. Классификация тиристорных коммутаторов.
13. Основные принципы построения и режимы работы тиристорных усилителей.
14. Основные способы фазового регулирования углов включения тиристоров.
15. Гармонический состав токов и напряжений тиристорного регулятора с фазовым регулированием, от чего он зависит.
16. Влияние характера нагрузки на форму тока в фазорегулируемом тиристорном усилителе.

17. Какими факторами определяется быстродействие тиристорного коммутатора с естественной и искусственной коммутацией вентилялей.
18. Назначение, основные элементы, классификация, эксплуатационные характеристики выпрямителей
19. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя
20. Особенности работы выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку. Временные диаграммы токов и напряжений однофазного однополупериодного выпрямителя, работающего на активно-индуктивную нагрузку
21. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя
22. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного мостового неуправляемого выпрямителя
23. Коммутационные процессы в выпрямителе. Величина угла коммутации
24. Понятие о коэффициентах преобразования выпрямителя по току и напряжению и коэффициенте использования мощности трансформатора. От чего они зависят.
25. Схема, достоинства и недостатки трехфазного нулевого неуправляемого выпрямителя
26. Схема, достоинства и недостатки трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя
27. Схема, временные диаграммы токов и напряжений однофазного нулевого управляемого выпрямителя
28. Внешняя и регулировочная характеристики выпрямителей, их вид, от чего зависят.
29. Назначение и схема включения шунтирующего диода в однофазном нулевом управляемом выпрямителе.
30. Как влияют угол коммутации и угол управления тиристорами на использование мощности питающего трансформатора
31. Как влияет характер нагрузки на форму выпрямленного и фазных токов трансформатора
32. Какие общепринятые допущения принимают при анализе электромагнитных процессов в выпрямителе и почему
33. Структурная схема и временные диаграммы системы вертикального управления управляющего сигнала для тиристора

34. Назначение и основные характеристики сглаживающих фильтров. Коэффициенты сглаживания и фильтрации. Классификация фильтров.
35. Схема, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки емкостных фильтров.
36. Схема, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки индуктивных фильтров.
37. Принципы построения, достоинства и недостатки сложных многозвенных и резонансных фильтров.
38. Основные схемы построения, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки электронных фильтров.
39. Назначение, классификация статических преобразователей частоты. Достоинства и недостатки различных вариантов СПЧ.
40. Приведите пример схемного выполнения непосредственного преобразователя с естественной коммутацией вентилей. Объясните принцип его работы.
41. Приведите пример схемного выполнения непосредственного преобразователя с искусственной коммутацией вентилей. Объясните принцип его работы.
42. Структурная схема выпрямительно-инверторных преобразователей частоты, их достоинства и недостатки.
43. Принципиальная электрическая схема, принцип работы, временные диаграммы инвертора напряжения.
44. Принципиальная электрическая схема, принцип работы, временные диаграммы инвертора тока.
45. Схема трехфазного автономного инвертора. Принцип формирования кривой выходного напряжения.
46. Основные способы повышения качества выходного напряжения автономных инверторов
47. Векторный способ синтеза синусоиды выходного напряжения автономных инверторов
48. Широтно-импульсная модуляция прямоугольного напряжения (одно- и двухполярная модуляция)
49. Основные способы регулирования величины вых. напряжения автономных инверторов
50. Регулирование выходного напряжения инвертора с помощью геометрического суммирования напряжений

## 5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме

В данном разделе приведен образец экзаменационного билета для студентов, сдающих экзамен в очной форме, во время сессии в Томске. Билет содержит 2 теоретических вопроса.

 <p>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»</p> 
<p align="center"><b>Экзаменационный билет № 10</b> по дисциплине <b>«Силовые преобразователи в электроэнергетике»</b> <b>НИ ТПУ, ЭНИН</b></p>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Схема формирования управляющего сигнала из анодного напряжения тиристора</li><li>2. Основные достоинства и недостатки нулевых и мостовых схем выпрямления</li></ol> <p>Составил: доцент кафедры ЭПП _____ <i>И.О.Муравлев</i> Утверждаю: зав. кафедрой ЭПП _____ <i>Б.В.Лукутин</i></p> <p>« 17 » декабря 2014 г.</p>

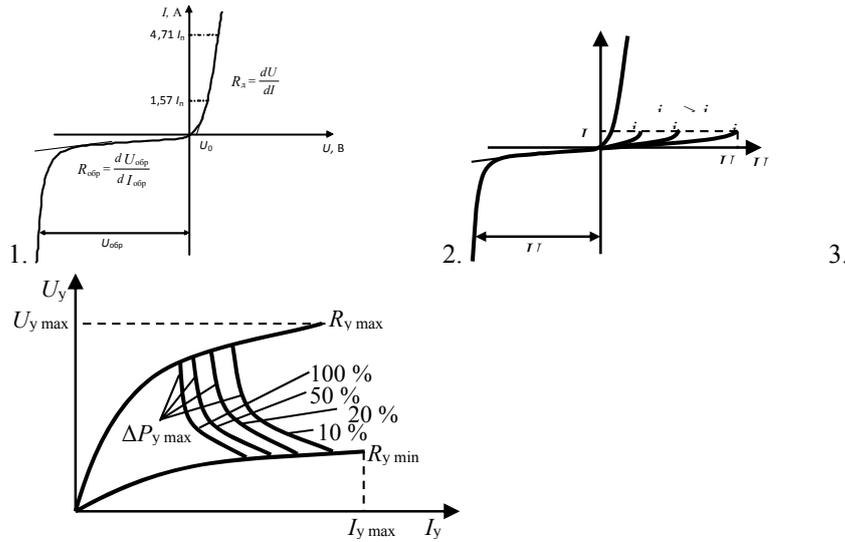
## 5.3. Образцы вопросов экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно

1. Какие электронные средства относятся к 1 классу?
  1. Электронные средства малой мощности
  2. Электронные средства, применяющиеся в источниках электропитания
  3. Усилители, генераторы
  4. Электронные цепи для преобразования электрического тока и напряжения
2. Какие устройства выполняются с естественной коммутацией?
  1. Коммутаторы, регуляторы- стабилизаторы, выпрямители, преобразователи частоты
  2. Фильтры
  3. Трансформаторы
  4. Выпрямители

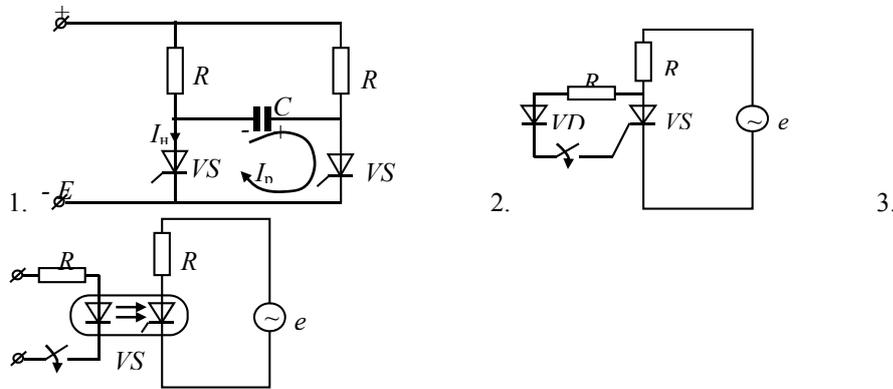
3. Как вычислить коэффициент сдвига тока относительно напряжения по первой гармонике?

1.  $\frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}}$
2.  $\frac{I_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВЫХ}}}$
3.  $\frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I}$
4.  $\frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}}{U}$
5.  $\frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$
6.  $\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}$
7.  $\frac{P}{S}$

4. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода.



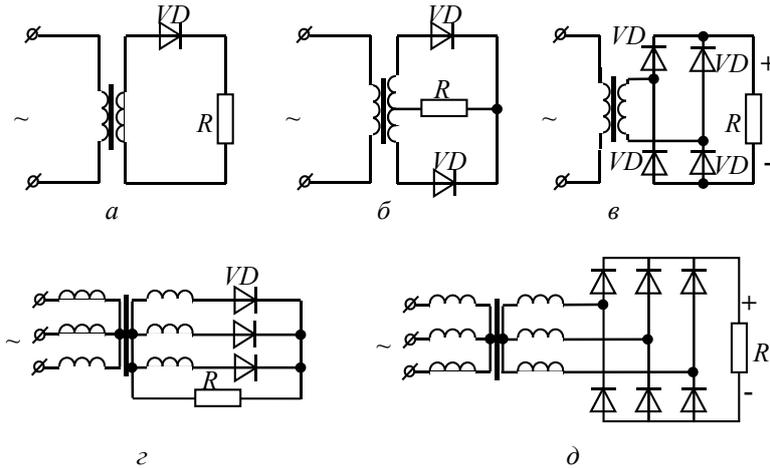
5. Укажите схему с искусственной коммутацией.



6. Что такое ТИРМ?

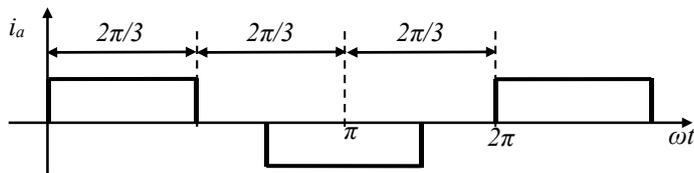
1. Источник реактивной мощности
2. Управляемый выпрямитель
3. Инвертор

7. Какие схемы выпрямления изображены?



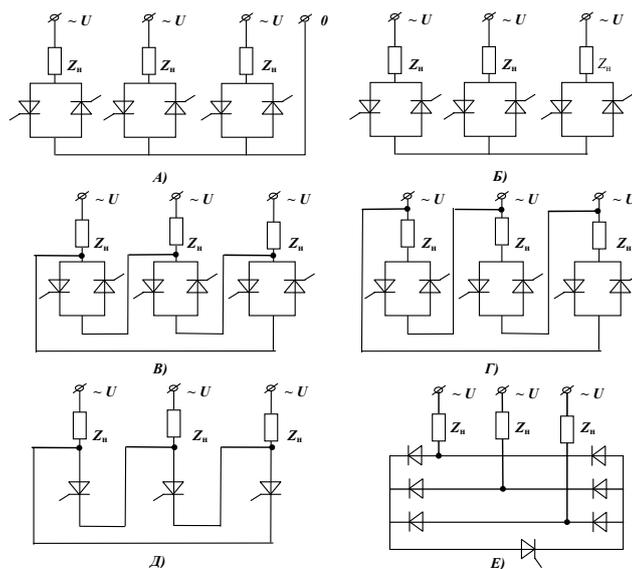
1. *a* – однофазная однополупериодная; *б* – однофазная с нулевым выводом; *в* – однофазная мостовая; *г* – трехфазная нулевая схема; *д* – трехфазная мостовая схема
2. *a* – однофазная с нулевым выводом; *б* – однофазная однополупериодная; *в* – однофазная мостовая; *г* – трехфазная нулевая схема; *д* – трехфазная мостовая схема
3. *a* – однофазная однополупериодная; *б* – однофазная с нулевым выводом; *в* – однофазная мостовая; *г* – трехфазная мостовая схема; *д* – трехфазная нулевая схема
4. *a* – однофазная с нулевым выводом; *б* – однофазная мостовая; *в* – однофазная однополупериодная; *г* – трехфазная мостовая схема; *д* – трехфазная нулевая схема

8. На рисунке изображена кривая фазного тока выпрямителя. Из предложенных ответов выберите правильный.



1. Трехфазный мостовой выпрямитель, работающий на индуктивную нагрузку, коммутационные процессы отсутствуют.
2. Трехфазный мостовой выпрямитель, работающий на индуктивную нагрузку, коммутационные процессы присутствуют.
3. Трехфазный нулевой выпрямитель, работающий на активную нагрузку, коммутационные процессы присутствуют.
4. Трехфазный нулевой выпрямитель, работающий на индуктивную нагрузку, коммутационные процессы присутствуют.

9. Укажите схему трехфазного тиристорного коммутатора на основе монополярных тиристорных ячеек с включением ячеек и нагрузок в треугольник.

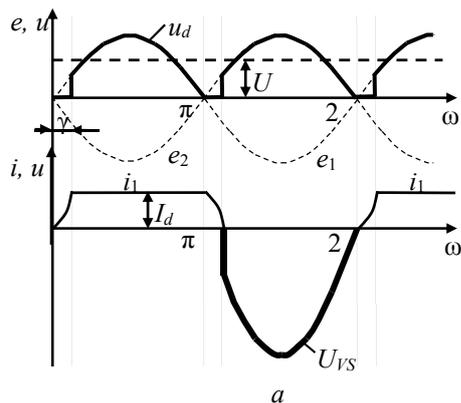


1. Г
2. А
3. Б
4. В
5. Д
6. Е

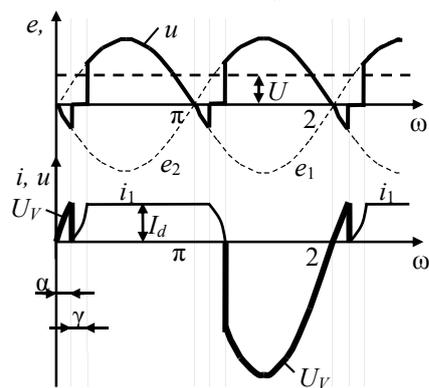
### 10. Эксплуатационные характеристики выпрямителя

1. средние значения выпрямленного напряжения и тока, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, внешняя характеристика, регулировочная характеристика, коэффициент пульсаций, коэффициент искажения.
2. действующие значения выпрямленного напряжения и тока, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, регулировочная характеристика, коэффициент искажения.
3. средние значения выпрямленного напряжения и тока, коэффициент мощности, внешняя характеристика, регулировочная характеристика, коэффициент пульсаций.

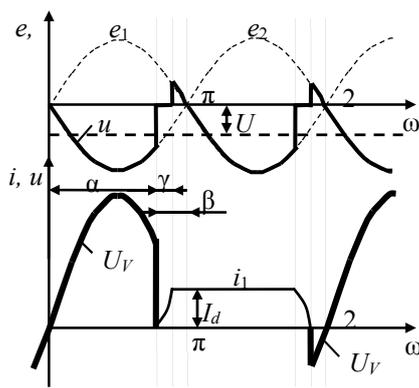
11. Укажите инверторный режим выпрямителя.



a



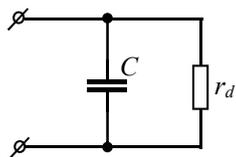
б



в

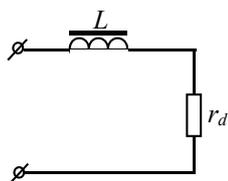
1. a
2. б
3. г

12. Укажите Г - образный фильтр



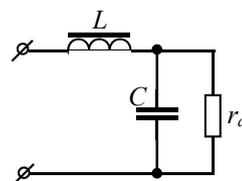
a

1.



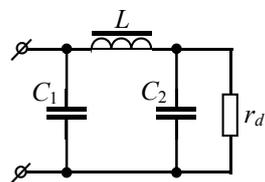
б

2.



в

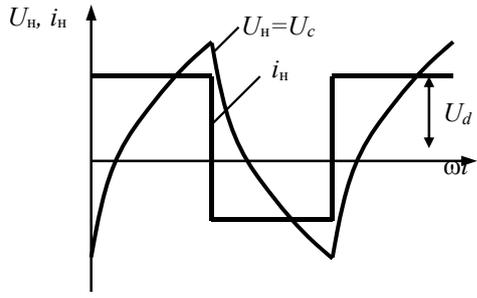
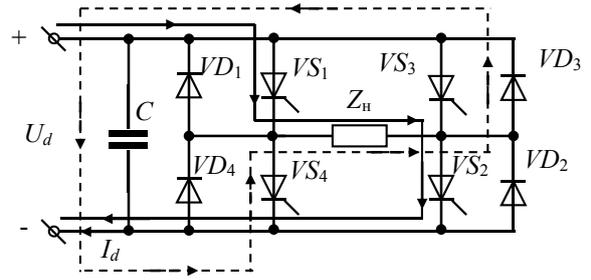
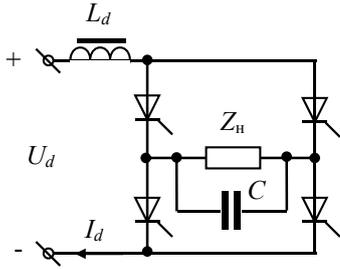
3.



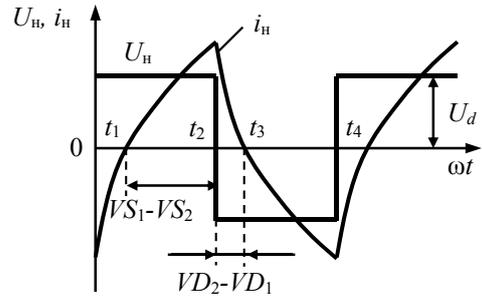
г

4.

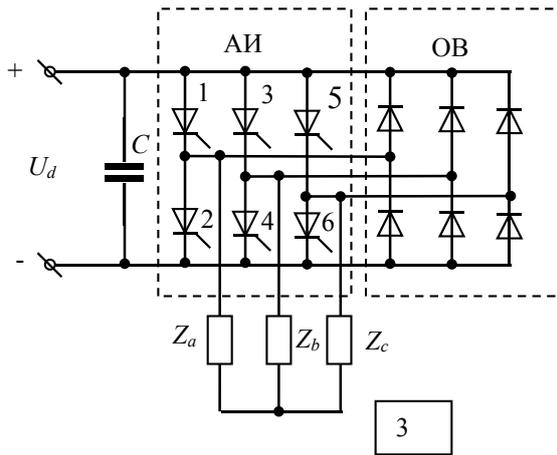
13. Укажите схему инвертора тока



1



2



3

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Литература обязательная

1. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Силовые преобразователи в электро-снабжении. Учебное пособие. – Томск, Изд. ТПУ, 2013. – 148 с. ([http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab/M\\_Sil\\_pr\\_v\\_elsnab.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab/M_Sil_pr_v_elsnab.pdf))
2. Лукутин Б.В., Муравлев И.О. Силовые преобразователи в электроснабжении. Расчет режимов работы выпрямителя: Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов спец. 140211 «Электроснабжение» ИДО / Сост.– Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 28 с. ([http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab2/K\\_P\\_Silovie\\_preobr\\_v\\_ensn.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab2/K_P_Silovie_preobr_v_ensn.pdf))
3. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 632 с.
4. Шутов Е.А., Обухов С.Г. Силовые преобразователи электроэнергии: виртуальный лабораторный практикум. Учебное пособие. – Томск, Изд. ТПУ, 2009. – 60 с. ([http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab1/L\\_B\\_sila\\_pp\\_lab.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab1/L_B_sila_pp_lab.pdf))

### 6.2. Литература дополнительная

5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. шк., 1982 – 298 с.
6. Полупроводниковые выпрямители / Под ред. Ф.И. Ковалева и Г.П. Мостковой. Москва, Энергия, 1978. – 148 с.
7. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. – Изд. 2-е перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 368 с.
8. Руденко В.И. и др. Основы преобразовательной техники. Учебник для ВУЗов, 2-е издание. – Москва, Высшая школа, 1980. – 344 с.
9. Чебовский О.Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. – Л.: Энергия, 1985. – 322с.

### 6.3. Интернет-ресурсы

10. <http://gaw.ru/> – сайт ООО «Рынок микроэлектроники» - обзорные статьи;
11. <http://power-e.ru/> - сайт журнала «Силовая электроника» - архив статей;
12. <http://www.kit-e.ru/> - сайт журнала «Компоненты и технологии» - архив статей;
13. <http://www.ixys.com> – сайт компании «IXYS» - силовые полупроводниковые приборы;
14. <http://www.elvpr.ru> - сайт ОАО «Электровыпрямитель» - силовые полупроводниковые приборы;
15. [www.irf.ru](http://www.irf.ru) - сайт компании «International Rectifier» - силовые полупроводниковые приборы;
16. <http://semikron.com/> - сайт компании «Semikron» - силовые полупроводниковые приборы;
17. СТО ТПУ 2.5.01–2006. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления / ТПУ [Электронный ресурс]. – Томск, 2006. – Режим доступа:
18. [-http://portal.tpu.ru/departments/head/methodic/standart](http://portal.tpu.ru/departments/head/methodic/standart), вход свободный.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ПОДГОТОВКА, ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАЩИТА РЕФЕРАТА

**Реферат** – это учебная работа, содержащая результаты теоретических и аналитических исследований по отдельной учебной дисциплине. Реферат является самостоятельной работой студента, выполняемой по учебному плану.

**Реферат – обзор литературы** по какой-либо проблеме (изложение содержания работ, книг, статей, с обозначением собственной позиции и позиций авторов по соответствующим вопросам).

Цели написания реферата:

1. Закрепление, расширение и углубление теоретических знаний по дисциплине.
2. Развитие практических навыков самостоятельной работы со специальной литературой (навыки анализа культурологических источников).
3. Выяснение степени подготовленности студента к самостоятельным суждениям и оценкам идей, концепций, позиций.

Нормативный *объем* реферата (без приложений) – 10–15 страниц стандартного компьютерного текста в редакторе Microsoft Word, интервал полуторный, шрифт Times New Roman, размер 14 pt, нормальная жирность.

При расчете рекомендуемых объемов исключены большие таблицы, громоздкие рисунки, список использованных источников, приложения. Все иллюстративные материалы должны быть вынесены в приложения.

**Структура реферата.** Реферат должен включать в указанной ниже последовательности:

- титульный лист;
- оглавление;
- введение;
- основную часть, разбитую на главы и параграфы;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения (в случае необходимости).

**Титульный лист.** Образец оформления и шаблон титульного листа размещен на сайте ИнЭО (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>) в разделе СТУДЕНТУ → ДОКУМЕНТЫ.

**Введение.** Во введении излагается актуальность темы, степень разработанности темы в научной литературе, проблема, цель и задачи работы. Объем введения – 1–2 стр.

**Основная часть.** Содержание основной части должно соответствовать оглавлению. Основная часть представляет собой изложение результатов освоения темы. В ней демонстрируются умения самостоятельно работать с современной литературой, глубоко и всесторонне исследовать проблему, пользоваться современной научной терминологией.

Текст основной части делится на разделы, подразделы, параграфы в соответствии с содержанием и структурой рассматриваемых вопросов.

Текст может сопровождаться иллюстрациями.

Каждый раздел рекомендуется начинать с нового листа.

**Заключение.** В заключении содержатся краткие выводы по результатам выполненной работы, оценка полноты решения поставленных во введении задач. Объем заключения – 1–2 стр.

**Список использованных источников** характеризует глубину и широту изучения темы, демонстрирует эрудицию и культуру исследования. В список включают все источники, на которые есть ссылки в тексте, в алфавитном порядке.

Каждый документ, включенный в список, оформляется в соответствии с библиографической записью по ГОСТу. Образец оформления списка литературы размещен на сайте ИнЭО (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>) в разделе СТУДЕНТУ → ДОКУМЕНТЫ.

**Приложения.** В приложения рекомендуется включать материалы иллюстративного и вспомогательного характера: таблицы и рисунки большого формата, материалы справочного характера. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте.

### **Требования к оформлению реферата**

Реферат выполняется на бумаге формата А4 (210×297).

**Размеры полей:** верхнее – 2,5 см, левое – 2 см, нижнее – 3 см, правое – 1,5 см.

**Абзацный отступ** – 1 см.

**Нумерация страниц.** Все страницы нумеруются от титульного листа, который считается первой страницей, хотя цифра «1» на нем не ставится. Страницы ставятся в правом нижнем углу.

**Заголовки.** Разделы, подразделы, параграфы должны иметь заголовки, отражающие их содержание и соответствующие оглавлению.

Точку и двоеточие в конце заголовков не ставят. После цифры нумерации заголовка точка ставится. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Не допускается выделение заголовка другим цветом, подчеркиванием.

Все заголовки отделяются от текста или от других заголовков пробелом или пробельной строкой. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно удвоенному межстрочному интервалу; между заголовками раздела и подраздела – одному межстрочному интервалу.

Перед заголовком слова «раздел», «подраздел», «параграф» не указываются.

Нумерация заголовков допускается только арабскими цифрами. Заголовки «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» не нумеруются.

**Иллюстрации.** Иллюстрация располагается по тексту сразу после первого упоминания, если она размещается на листе формата А4. Если формат больше, ее следует помещать в приложении.

Все иллюстрации подписываются словом «Рис.» с указанием порядкового номера и названия (например, Рис. 1. Название рисунка), размер шрифта 13 pt.

Нумерация иллюстраций допускается как по разделам, так и сквозная. Название помещают под иллюстрацией симметрично изображению, в конце названия точку не ставят.

**Цитаты.** Цитировать авторов необходимо только по их произведениям. Когда источник недоступен, разрешается воспользоваться цитатой этого автора, опубликованной в другом издании. В этом случае ссылке должны предшествовать слова: Цит. по кн. ...

При цитировании нужно соблюдать точное соответствие цитаты источнику. Допустимы лишь следующие отклонения: могут быть модернизированы орфография и пунктуация по современным правилам, если это не индивидуальная орфография или пунктуация автора; могут быть пропущены отдельные слова в цитате при условии, что мысль автора не искажается и этот пропуск обозначается многоточием.

Цитаты закавычиваются. Ссылке на незакавыченные цитаты предшествует сокращенное слово «смотрите» (см.).

**Ссылки.** В тексте обязательны ссылки на источники данных, цитат, иллюстраций, таблиц и в других необходимых случаях.

При ссылке на использованные источники приводятся порядковые номера по списку использованных источников, заключенные в квадратные скобки (например, [9] или [9, 10]).

При ссылках на данный реферат указывают номера структурных частей текста, рисунков. При ссылках на структурные части текста указывают номера разделов, приложений, подразделов, пунктов: «в соответствии с разд. 2», «в соответствии с рис. 1.2».

### **Порядок оценки реферата**

Работа не допускается к зачету, если не носит самостоятельного характера и не соответствует требованиям, изложенным в данных методических указаниях. Обязателен самостоятельный подбор и изучение научной литературы по избранной теме (от 5 до 10 источников).

В реферате студент должен показать глубокие знания по избранной теме, понимание полноты решения поставленных задач и их научную значимость.

#### **Работа не зачитывается, если**

- реферат не носит исследовательского характера, в нем не раскрыта тема, нет анализа избранной проблемы, он не отвечает требованиям, изложенным в методических указаниях кафедры;
- не имеет выводов в соответствии с поставленными во введении задачами;
- в реферате допущены существенные ошибки.

Учебное издание

# СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Методические указания и индивидуальные задания

*Составитель*

МУРАВЛЕВ Игорь Олегович

*Рецензент*

*доктор технических наук,  
доцент кафедры ЭПП ЭНИН*

*С.Г. Обухов*

Компьютерная верстка *И.О. Муравлев*



Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифициро-  
вана  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



---

ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)