

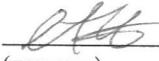


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

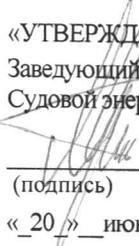
«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

  
(подпись) А.В. Комлев  
(Ф.И.О. рук.ОП)  
« 20 » июня 2018г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
Судовой энергетики и автоматике

  
(подпись) М.В. Грибиниченко  
(Ф.И.О. зав. каф.)  
« 20 » июня 2018г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Силовая электроника

**Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**  
профиль «Электрооборудование и автоматика судов»

**Форма подготовки: очная**

курс 3 семестр 6  
лекции 36 час.  
практические занятия 18 час.  
лабораторные работы 36 час.  
в том числе с использованием МАО лек. 12 /пр. 6 /лаб. 12 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 90 час.  
в том числе с использованием МАО 30 час.  
самостоятельная работа 126 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 36 час.  
количество контрольных работ - 0  
курсовая работа / курсовой проект 6 семестр  
зачет      -      семестр  
экзамен 6 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 г. № 12-13-1282

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Судовой энергетики и автоматике протокол № 9 от « 20 » июня 2018г.

Заведующий кафедрой: к.т.н., доцент Грибиниченко М.В.  
Составитель: Усольцев В.К.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 13.03.02 "Electric power industry and the electrical engineer»**

**Study profile:** Electric equipment and automatics of vessels

**Course title:** Power electronics

**Variable part of Block 1, 6 credits.**

**Instructor:** Usoltsev V.K.

**At the beginning of the course a student should be able to:**

- Linear algebra and analytical geometry
- the Mathematical analysis
- Physics
- Theoretical bases electrical engineers
- Physical bases of electronics

**Learning outcomes:**

- PC-2 Ability to process results of experiments\$
- PC-7 Ability to provide demanded modes and the set parametres of technological process by the set technique

**Course description:**

◌. to Study circuit decisions and algorithms of functioning of a power part of converters of an alternating current in a direct current, constant a current in variable, an alternating current in the variable;

◌. to Master a design procedure of a power part of all kinds of power converters of electric energy;

◌. to Study circuit decisions of control systems of power converters and a technique of their calculation;

◌. to Master a technique of test and adjustment of power converters.

**Main course literature:**

1. Semenov B. Y. Power electronics. Professional solutions [Electronic resource]/ Yu. a. Semenov B. Electron. text data.- Saratov: Vocational Education,

2017.- 415 c.— Access mode: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-63586&theme=FEFU>

2. Semenov B. Y. Power electronics. From the simple to the complex [Electronic resource] / Semenov— Electron. text data.— M.: SOLON-PRESS, 2009.— 416 c.— Mode of access: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-8674&theme=FEFU>

3. Power electronics: power semiconductor converters for electric drive and power supply: Uch.POS. / Onishchenko G. M., Sosnin O. M.: SIC INFRA-m, 2016. - 122 p.: 60x90 1/16. - ((Higher education: Bachelor's degree) (o) 978-5-16-011120-9 ISBN - Mode of access: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=Znanium:Znanium-550765&theme=FEFU>

**Form of final control:** *exam.*

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Силовая электроника»**

Рабочая программа дисциплины «Силовая электроника» разработана для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и является дисциплиной выбора вариативной части Блока 1 учебного плана (Б1.В.ДВ.05.01).

Общая трудоёмкость освоения дисциплины составляет 216 часов (6 зачётных единиц). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические занятия (18 часов), лабораторные работы (36 часов), курсовая работа, самостоятельная работа студентов (126 часов, в том числе 36 часов на экзамен). Дисциплина реализуется на 3 курсе в 6 семестре. Форма контроля – экзамен.

**Цель:** изучить виды силовых преобразователей электрической энергии, методику их расчета настройки и испытания.

### **Задачи:**

- Изучить схемные решения и алгоритмы функционирования силовой части преобразователей переменного тока в постоянный ток, постоянного тока в переменный, переменного тока в переменный;
- Освоить методику расчета силовой части всех видов силовых преобразователей электрической энергии;
- Изучить схемные решения систем управления силовыми преобразователями и методику их расчета;
- Освоить методику испытания и настройки силовых преобразователей.

При изучении дисциплины необходимо знание материала, излагаемого в учебных дисциплинах:

- «Математический анализ»
- «Линейная алгебра и аналитическая геометрия»
- «Физика»
- «Теоретические основы электротехники»

- «Физические основы электроники»

Для успешного изучения дисциплины «Силовая преобразовательная техника» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач;
- способность использовать методы анализа и моделирования электрических цепей.

Планируемые результаты обучения по данной дисциплине (знания, умения, владения), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют этапы формирования следующих компетенций:

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-2 способностью обрабатывать результаты экспериментов	Знает	принципы работы силовых преобразователей, их основные режимы работы, регулировочные и внешние характеристики;
	Умеет	Экспериментально определить основные параметры преобразователей, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;
	Владеет	Методикой определения основных характеристик силовых преобразователей, методикой расчета их режима работы.
ПК-7 способностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике	Знает	Основные схемные решения силовой части преобразователей электрической энергии и их режимы работы;
	Умеет	Рассчитывать основные режимы работы, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;
	Владеет	Методикой настройки основных параметров силовых преобразователей, определением параметров и настройкой их схем управления.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Силовая электроника» применяются следующие методы активного обучения: коллоквиум, кейс – задачи, групповая консультация.

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 ЧАСОВ)**

## **Раздел I. Общие сведения о силовых преобразователях (4 час.)**

### **Тема 1. Введение (1 час)**

1. Преобразовательные устройства как исполнительные или усилительные элементы систем управления.

### **Тема 2. Методы анализа работы преобразовательных устройств (3 часа)**

1. Метод припасовывания.
2. Метод эквивалентного источника.
3. Гармонический анализ.

## **Раздел II. Выпрямители (14 часов)**

### **Тема 1. Неуправляемые и управляемые двухфазные схемы выпрямления (4 часа)**

1. Работа нулевой и мостовой схем на различную нагрузку.
2. Расчетная мощность трансформатора.
3. Режимы непрерывного и прерывистого тока.
4. Режимы выпрямителя и ведомого сетью инвертора.

### **Тема 2. Многофазные схемы выпрямления (4 часа)**

1. Трехфазная и шестифазная схемы выпрямления.
2. Схемные способы реализации реверсивных тиристорных преобразователей (ТП).
3. Совместное и раздельное управление реверсивными преобразователями.

### **Тема 3. Энергетические характеристики тиристорных преобразователей (4 часа)**

1. Регулировочные характеристики.

2. Гармонический состав напряжений и токов.
3. Процесс коммутации.
4. Внешние характеристики и коэффициент мощности ТП.

#### **Тема 4. Искусственная коммутация тиристоров (2 часа)**

1. Подключение коммутирующего конденсатора, подключение колебательного контура.
2. Одно и многоступенчатая коммутация.
3. Электромагнитные процессы при коммутации.

### **Раздел III. Преобразователи постоянного напряжения (4 часа)**

#### **Тема 1. Понижающие широтно-импульсные модуляторы (ШИМ) (2 часа)**

1. Нереверсивный понижающий ШИМ.
2. Нереверсивный понижающий ШИМ, работающий на электродвигатель.
3. Реверсивный понижающий ШИМ
4. Регулировочные и внешние характеристики.

#### **Тема 2. Повышающий ШИМ (2 часа)**

1. Схема повышающего ШИМ.
2. Регулировочные и внешние характеристики.

### **Раздел IV. Автономные инверторы напряжения и преобразователи частоты (8 часов)**

#### **Тема 1. Инверторы на полностью управляемых элементах (4 часа)**

1. Однофазные и трехфазные инверторы напряжения.
2. Действующие значения и гармонический состав выходных токов и напряжений.

3. Схемы с индивидуальной и групповой коммутацией.

## **Тема 2. Инверторы с синусоидальным выходным напряжением (2 часа)**

1. Принципы формирования синусоидального выходного напряжения автономного инвертора.
2. Инвертор на базе реверсивного тиристорного преобразователя.
3. Инверторы на полностью управляемых приборах.

## **Тема 3. Преобразователи частоты (ПЧ) (2 часа)**

1. ПЧ со звеном постоянного тока.
2. Непосредственные ПЧ.
3. Схемные способы улучшения выходного напряжения.

## **Раздел V. Управление силовыми преобразователями (6 часа)**

### **Тема 1. Системы импульсно-фазового управления (СИФУ) (4 часа)**

1. СИФУ на базе магнитных усилителей, фазовращателей.
2. СИФУ вертикального управления.
3. Компенсация нелинейности регулировочной характеристики ТП с помощью СИФУ.
4. Синхронизация однофазного и трехфазного СИФУ.

### **Тема 2. Системы управления автономными инверторами и ПЧ (2 часа)**

1. Распределители импульсов, дешифраторы, согласующие схемы.
2. Применение цифровых устройств для управления преобразователями.
3. Примеры схем управления ШИМ, АИ, ПЧ, НПЧ.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (54 ЧАСА)**

### **Практические занятия (18час.)**

**Занятие 1. Применение метода припасовывания (2 часа). Занятие с использованием интерактивного метода обучения – «групповое обсуждение».**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Анализ однофазной схемы выпрямления методом припасовывания.
2. Составление и решение дифференциальных уравнений для отдельных участков.
3. Сшивание участков, используя законы коммутации.

**Занятие 2. Расчет характеристик двухфазных схем выпрямления (2 часа)**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Получение аналитических зависимостей между параметрами переменного и постоянного тока.
2. Расчет гармонического состава выходного напряжения выпрямителя.
3. Расчет мощности питающего выпрямитель трансформатора.

**Занятие 3. Расчет характеристик многофазных схем выпрямления (2 часа). Занятие с использованием интерактивного метода обучения – «групповая консультация».**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Получение аналитических зависимостей между параметрами переменного и постоянного тока.
2. Расчет гармонического состава выходного напряжения выпрямителя.
3. Расчет мощности питающего выпрямитель трансформатора.

**Занятие 4. Расчет широтно-импульсных модуляторов (2 часа).**  
Занятие с использованием интерактивного метода обучения – «групповая консультация».

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Токи и напряжения в ШИМ.
2. Энергетические потери в полупроводниковых приборах.
3. Методика выбора полупроводниковых приборов и их защита от перенапряжений.

**Занятие 5. Инверторы тока на тиристорах (2 часа)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Искусственная коммутация в автономном инверторе тока.
2. Расчет коммутирующего конденсатора.
3. Временные диаграммы токов и напряжений инвертора тока.

**Занятие 6. Расчет системы импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорным преобразователем (4 часа)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Схемные решения блоков формирования импульсов (БФИ).
2. Синхронизация БФИ в двухфазной, трехфазной и шестифазной схеме выпрямления.

**Занятие 7. Синтез системы управления трехфазным автономным инвертором (4 часа)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Распределение управляющих импульсов на микросхемах среднего уровня интеграции.
2. Реализация потенциальной развязки сигналов, управляющих силовыми полупроводниковыми приборами.

### **Лабораторные работы (36 час.)**

**Лабораторная работа № 1. Неуправляемые и управляемые полупроводниковые выпрямители (8 часов). Занятие с использованием интерактивного метода обучения – «групповая консультация».**

1. Структура и принцип работы трехфазной нулевой схемы неуправляемого выпрямителя.
2. Структура и принцип работы трехфазной нулевой схемы управляемого выпрямителя.
3. Структура и принцип работы мостовой схемы неуправляемого выпрямителя.
4. Структура и принцип работы мостовой схемы управляемого выпрямителя.

**Лабораторная работа № 2. Нереверсивный тиристорный широтно-импульсный модулятор (4 часа)**

1. Структура и принцип работы нереверсивного тиристорного широтно-импульсного модулятора.
2. Получение и анализ экспериментальных характеристик при разной скважности импульсов.

**Лабораторная работа № 3. Нереверсивные транзисторные широтно-импульсные модуляторы (4 часа)**

1. Структура и принцип работы нереверсивного транзисторного широтно-импульсного модулятора.
2. Получение и анализ экспериментальных характеристик при разной скважности импульсов.

**Лабораторная работа № 4. Реверсивные транзисторные широтно-импульсные модуляторы (4 часа)**

1. Структура и принцип работы реверсивного транзисторного широтно-импульсного модулятора.

2. Симметричный и несимметричный способы управления транзисторами.

3. Получение и анализ экспериментальных характеристик при разной скважности импульсов.

### **Лабораторная работа № 5. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой (4 часа)**

1. Структура и принцип работы однофазного параллельного инвертора тока со средней точкой.

2. Анализ способов формирования и регулирования выходных напряжения и тока однофазного параллельного инвертора тока со средней точкой с помощью экспериментальных кривых.

### **Лабораторная работа № 6. Автономный трехфазный инвертор напряжения (4 часа)**

1. Структура и принцип работы автономного трехфазного инвертора напряжения.

2. Анализ способов формирования и регулирования выходного напряжения автономного трехфазного инвертора напряжения с помощью экспериментальных кривых.

### **Лабораторная работа № 7. Трехфазный инвертор с синусоидальным выходным напряжением (4 часа)**

1. Структура и принцип работы трехфазного инвертора с синусоидальным выходным напряжением.

2. Анализ способов формирования и регулирования выходного напряжения трехфазного инвертора с синусоидальным выходным напряжением с помощью экспериментальных кривых.

## Лабораторная работа № 8. Корректор коэффициента мощности (4 часа)

1. Структура и принцип работы корректора коэффициента мощности.
2. Анализ способов повышения коэффициента мощности с помощью экспериментальных кривых.

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Силовая электроника» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Общие сведения о силовых преобразователях	ПК-2	Знает классификацию и методы исследования силовых преобразователей;	УО-1 собеседование	Вопросы 1,2
			Умеет определить тип силового преобразователя;	УО-1 собеседование	Вопросы 2,3
			Владеет методикой анализа выходного напряжения конкретного силового преобразователя.	УО-1 собеседование	Вопросы 1-3
2	Раздел II. Выпрямители	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения силовой части выпрямителей	УО-1 собеседование	Вопросы 4-7, 10-13
			Умеет рассчитать и	ПР-5	Вопросы 8, 9,

			выбрать силовые элементы выпрямителей	курсов. работа	18,19
			Владеет методикой настройки и испытания выпрямителей	ПР-6 лаб. работа	Вопросы 8, 9, 14-17, 20
3	Раздел III. Преобразователи постоянного напряжения	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения силовой части преобразователей постоянного напряжения	УО-1 собеседование	Вопросы 21-31
			Умеет рассчитать и выбрать силовые элементы преобразователей постоянного напряжения	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 21-31
			Владеет методикой настройки и испытания преобразователей постоянного напряжения	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 21-31
4	Раздел IV. Автономные инверторы напряжения и преобразователи частоты (ПЧ)	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения силовой части инверторов и ПЧ	УО-1 собеседование	Вопросы 32-37
			Умеет рассчитать и выбрать силовые элементы инверторов и ПЧ	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 32-39
			Владеет методикой настройки и испытания инверторов и ПЧ	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 32-37, 47-56
5	Раздел V. Управление силовыми преобразователями	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения систем управления преобразователями	УО-1 собеседование	Вопросы 40-46
			Умеет рассчитать системы управления преобразователями	ПР-5 курсов. работа	Вопросы 40-46
			Владеет методикой настройки и испытания систем управления преобразователями	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 40-46

Текущий контроль лекционного материала осуществляется путем проведения тестовых экспресс контрольных работ (ЭКР).

Контроль выполнения лабораторных работ состоит из трех этапов: своевременного выполнения лабораторной работы, своевременного представления отчета по лабораторной работе и защиты лабораторной работы.

Промежуточные аттестации проставляются:

- первая с учетом экспресс контрольной работы;
- вторая с учетом экспресс контрольной работы, выполнения лабораторных работ;
- третья с учетом экспресс контрольной работы, выполнения лабораторных работ и результатов предыдущих аттестаций.

**Итоговый контроль по дисциплине** осуществляется в форме экзамена в конце 6 семестра.

К экзамену допускаются студенты, прослушавшие теоретический курс, выполнившие все лабораторные работы и практические задания, предусмотренные программой дисциплины.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника. Профессиональные решения [Электронный ресурс]/ Семенов Б.Ю.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Профобразование, 2017.— 415 с.— Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-63586&theme=FEFU>
2. Семенов Б.Ю. Силовая электроника. От простого к сложному [Электронный ресурс]/ Семенов Б.Ю.— Электрон. текстовые данные.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 416 с.— Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-8674&theme=FEFU>
3. Силовая электроника: Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения: Уч.пос. / Онищенко Г.Б., Соснин О.М. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 122 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат) (о) ISBN 978-5-16-011120-9 - Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=Znanium:Znanium-550765&theme=FEFU>

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника. Профессиональные решения [Электронный ресурс] / Б. Ю. Семенов. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Профобразование, 2017. — 415 с. — 978-5-4488-0057-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63586.html>

2. Герасимов, А. С. Судовая электроника и силовая преобразовательная техника [Электронный ресурс] : конспект лекций / А. С. Герасимов, М. С. Сандлер. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2014. — 108 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46845.html>

3. Аблязов, В. И. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. И. Аблязов. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2018. — 130 с. — 978-5-7422-6134-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/83317.html>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети**

#### **«Интернет»**

1. <http://www.twirpx.com/file/11491/> Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

2. [https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/289/Usolcev\\_V.K.\\_Tranzistornye\\_impulsnyye\\_preobrazovateli.pdf](https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/289/Usolcev_V.K._Tranzistornye_impulsnyye_preobrazovateli.pdf) Усольцев В.К. Транзисторные импульсные преобразователи: для студентов направления подготовки 13.04.02 «Автоматизированные электротехнические комплексы и системы»: учебно-методическое пособие / Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. – 48 с.

#### **Перечень информационных технологий**

## **и программного обеспечения**

1. Расчет силового управляемого выпрямителя: пакет программ MathCAD, сост. В.К. Усольцев. – Владивосток, 2012. – 8.5 Мбайт.
2. Силовые преобразователи: пакет программ MathCAD, моделирующих силовые преобразователи, сост. В.К. Усольцев. – Владивосток, 2012. – 36.6 Мбайт.

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

На изучение дисциплины «Силовая электроника» отводится 90 часов аудиторных занятий и 126 часа самостоятельной работы.

Современные образовательные технологии предусматривают взаимосвязанную деятельность преподавателя и учащихся. При изучении данной дисциплины используются традиционные и интерактивные образовательные технологии:

- **лекции** (рассмотрение теоретического материала) с использованием мультимедийных технологий (презентации), экспресс-тесты, устные блиц-опросы в начале лекции ориентированы на обобщение и определение взаимосвязи лекционного материала;

-**практические занятия** проводятся на базе компьютерного класса, где выполняются практические задачи по расчету характеристик временных диаграмм и характеристик силовых преобразователей электрической энергии..

-**лабораторные работы** проводятся на базе компьютерного класса с использованием моделирующих электронные устройства программ, а также с использованием специализированных лабораторных стендов. Оценка результата выполнения лабораторных работ проходит в форме собеседования или компьютерного тестирования.

- **курсовая работа** выполняется с использованием, разработанной автором, программы, реализованной в программном обеспечении MathCAD. Защита курсовой работы проводится в форме собеседования или компьютерного тестирования.

### **Рекомендации по подготовке к экзамену (зачёту):**

Каждый учебный семестр заканчивается зачетно-экзаменационной сессией. Подготовка к зачетно-экзаменационной сессии, сдача зачетов и экзаменов является также самостоятельной работой студента. Основное в подготовке к сессии – повторение всего учебного материала дисциплины, по которому необходимо сдавать зачет или экзамен. Только тот студент успевает, кто хорошо усвоил учебный материал. Если студент плохо работал в семестре, пропускал лекции, слушал их невнимательно, не конспектировал, не изучал рекомендованную литературу, то в процессе подготовки к сессии ему придется не повторять уже знакомое, а заново в короткий срок изучать весь учебный материал. Все это зачастую невозможно сделать из-за нехватки времени. Для такого студента подготовка к зачету или экзамену будет трудным, а иногда и непосильным делом, а конечный результат - возможное отчисление из учебного заведения

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

1. Специализированные многофункциональные стенды СЭА.001 РБЭ (911.1) «Силовая электроника» - 3 комплекта с измерительными приборами.
2. Лаборатория со специализированными стендами и персональными компьютерами. (3 стенда и 9 компьютеров)
3. Мультимедийная аудитория для интерактивных занятий.
4. Пакет программ в ПО MathCAD, моделирующий силовые преобразователи.

5. Комплект плакатов по дисциплине «Силовая электроника» - 25 шт.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ  
ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Силовая электроника»**

**Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

**Профиль «Электрооборудование и автоматика судов»**

**Форма подготовки очная**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п, тема работы	Дата/сроки выполнения	Вид СРС	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1. Тиристорные преобразователи (выпрямители и ШИМ)	6-7 неделя 5 семестра	Оформление лаб. работ №1 и №2	1 неделя	ПР-1 или УО-1
1. Транзисторные преобразователи постоянного напряжения	8-9 неделя 5 семестра	Оформление лаб. работ №3 и №4	1 неделя	ПР-1
2. Расчет силовой части управляемого выпрямителя	8-9 неделя 5 семестра	Курсовая работа	1 неделя	ПР-5
3. Инверторы напряжения	10-11 неделя 5 семестра	Оформление лаб. работ №5 и №6	1 неделя	ПР-1
4. Разработка и расчет схемы управления выпрямителем	10-11 неделя 5 семестра	Курсовая работа	1 неделя	ПР-5
5. Инвертор напряжения, корректор коэффициента мощности	12-14 неделя 5 семестра	Оформление лаб. работ №7 и №8	1 неделя	УО-1
6. Оформление и защита курсовой работы	12-14 неделя 5 семестра	Курсовая работа	1 неделя	ПР-5

Материалы для самостоятельной работы студентов подготовлены в виде методических указаний. Полный комплект методических указаний хранится на кафедре Судовой энергетики и автоматики и в электронной библиотеке ДВФУ. Для расчётов и оформления используются специальные программы: MathCAD и Word.

## **Характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению**

Курсовая работа по дисциплине «Силовая преобразовательная техника» выполняется в 6 семестре.

**Цель работы:** привить практические навыки расчета силовых электронных схем.

**Тема курсовой работы:** «Расчет силового управляемого выпрямителя».

**Содержание курсовой работы:**

- из предлагаемых в методических указаниях вариантов электродвигателя, типа схемы выпрямления и варианта блока формирования импульсов (БФИ) формируется работоспособная схема силового управляемого выпрямителя;
- выполняется расчет и выбор элементов выпрямителя;
- выполняется расчет и выбор элементов системы импульсно-фазового управления и регуляторов тока и напряжения;
- рассчитываются основные параметры силового управляемого выпрямителя;
- на листе формата А3 выполняется общая принципиальная схема силового управляемого выпрямителя;
- на листе формата А4 выполняется принципиальная схема БФИ;
- на листе формата А4 выполняется принципиальные схемы регуляторов.

Варианты схем выпрямления:

1. Однофазный нулевой выпрямитель.
2. Однофазный мостовой выпрямитель.
3. Трехфазный нулевой выпрямитель.
4. Трехфазный мостовой выпрямитель.

Варианты задания к курсовой работе «Расчет управляемого выпрямителя»

№ вар.	Ф.И.О. Иванов	Тип Дв-ля	$U_{ном},$ В	$N_{ном},$ об/мин	Схема выпрямления	Тип БФИ	Зона Преры- вистого тока
1		П32	220	750	Двухфазная нулевая	1	0.1
2		П42	220	750	Двухфазная мостовая	7	0.09
3		П51	220	750	Трехфазная нулевая	2	0.08
4		П61	220	750	Шестифазная мостовая	3	0.07
5		П62	220	750	Шестифазная мостовая	4	0.06
6		П32	220	1000	Двухфазная нулевая	6	0.08
7		П42	220	1000	Двухфазная мостовая	8	0.07
8		П51	220	1000	Трехфазная нулевая	5	0.06
9		П52	220	1000	Трехфазная нулевая	1	0.05
10		П61	220	1000	Шестифазная мостовая	2	0.04
11		П32	110	750	Двухфазная нулевая	6	0.1
12		П42	110	750	Двухфазная мостовая	8	0.09
13		П51	110	750	Трехфазная нулевая	6	0.08
14		П61	110	750	Трехфазная нулевая	4	0.07
15		П62	110	750	Шестифазная мостовая	3	0.06
16		П32	110	1000	Двухфазная нулевая	1	0.08
17		П42	110	1000	Двухфазная мостовая	7	0.07
18		П51	110	1000	Трехфазная нулевая	2	0.06
19		П52	110	1000	Шестифазная мостовая	4	0.05
20		П61	110	1000	Шестифазная мостовая	5	0.04
21		П32	220	750	Двухфазная нулевая	6	0.1
22		П42	220	750	Двухфазная мостовая	8	0.09
23		П51	220	750	Трехфазная нулевая	8	0.08

24		П61	220	750	Шестифазная мостовая	7	0.07
25		П32	220	1000	Шестифазная мостовая	2	0.06
26		П32	220	1000	Двухфазная нулевая	1	0.08

## **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Результаты самостоятельной работы студент выполняет в виде письменного отчета, содержащего пояснительную записку и принципиальную схему управляемого выпрямителя.

Изложение в пояснительной записке должно быть сжатым, ясным и сопровождаться формулами, цифровыми данными, схемами. Цифровой материал необходимо оформлять в виде таблиц.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

✓ 10-9 баллов выставляется студенту, если студент выполнил все пункты расчётно-графического задания. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 8-7 - баллов – работа выполнена полностью; допущено не более 1 ошибки при выборе элементов выпрямителя или одна-две ошибки в оформлении работы. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 7-6 балл – работа выполнена полностью. Допущено не более 2 ошибок в расчётах РГР или оформлении работы. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

✓ 6-5 баллов - Работа выполнена. Допущено три или более трех ошибок в расчётах, в оформлении работы. При защите студент не отвечает на 2-3 вопроса преподавателя.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Силовая электроника»  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль «Электрооборудование и автоматика судов»  
**Форма подготовки очная**

Владивосток  
2018

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
	ПК-2 способностью обрабатывать результаты экспериментов	Знает
Умеет		Экспериментально определить основные параметры преобразователей, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;
Владеет		Методикой определения основных характеристик силовых преобразователей, методикой расчета их режима работы.
ПК-7 способностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике	Знает	Основные схемные решения силовой части преобразователей электрической энергии и их режимы работы;
	Умеет	Рассчитывать основные режимы работы, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;
	Владеет	Методикой настройки основных параметров силовых преобразователей, определением параметров и настройкой их схем управления.

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Раздел I. Общие сведения о силовых преобразователях	ПК-2	Знает классификацию и методы исследования силовых преобразователей;	УО-1 собеседование	Вопросы 1,2
			Умеет определить тип силового преобразователя;	УО-1 собеседование	Вопросы 2,3
			Владеет методикой анализа выходного напряжения конкретного силового преобразователя.	УО-1 собеседование	Вопросы 1-3
2	Раздел II. Выпрямители	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения силовой части выпрямителей	УО-1 собеседование	Вопросы 4-7, 10-13
			Умеет рассчитать и	ПР-5	Вопросы 8, 9,

			выбрать силовые элементы выпрямителей	курсов. работа	18,19
			Владеет методикой настройки и испытания выпрямителей	ПР-6 лаб. работа	Вопросы 8, 9, 14-17, 20
3	Раздел III. Преобразователи постоянного напряжения	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения силовой части преобразователей постоянного напряжения	УО-1 собеседование	Вопросы 21-31
			Умеет рассчитать и выбрать силовые элементы преобразователей постоянного напряжения	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 21-31
			Владеет методикой настройки и испытания преобразователей постоянного напряжения	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 21-31
4	Раздел IV. Автономные инверторы напряжения и преобразователи частоты (ПЧ)	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения силовой части инверторов и ПЧ	УО-1 собеседование	Вопросы 32-37
			Умеет рассчитать и выбрать силовые элементы инверторов и ПЧ	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 32-39
			Владеет методикой настройки и испытания инверторов и ПЧ	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 32-37, 47-56
5	Раздел V. Управление силовыми преобразователями	ПК-2, ПК-7	Знает схемные решения систем управления преобразователями	УО-1 собеседование	Вопросы 40-46
			Умеет рассчитать системы управления преобразователями	ПР-5 курсов. работа	Вопросы 40-46
			Владеет методикой настройки и испытания систем управления преобразователями	Пр-11 кейс-задача	Вопросы 40-46

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-2	Знает	принципы работы	Знание	Способен

способность обрабатывать результаты экспериментов		силовых преобразователей, их основные режимы работы, регулировочные и внешние характеристики;	принципов и режимов работы силовых преобразователей	изложить принципы работы Силовых преобразователей, их характеристики; обозначения на схемах электроэнергетических объектов;
	Умеет	Экспериментально определить основные параметры преобразователей, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;	Умение определить основные параметры преобразователей	Способен экспериментально определить основные параметры преобразователей, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;
	Владеет	Методикой определения основных характеристик силовых преобразователей, методикой расчета их режима работы.	Владение навыками определения основных характеристик силовых преобразователей	Может использовать методики расчета силовой части и системы управления силовых преобразователей и методикой определения их основных параметров
ПК-7 способность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по	Знает	Основные схемные решения силовой части преобразователей электрической энергии и их режимы работы;	Знание основных схемных решений силовой части преобразователей электрической энергии	Способность изложить основные схемные решения силовой части преобразователей электрической энергии и номенклатуру выпускаемых серийно преобразователей

заданной методике				й;
	Умеет	Рассчитывать основные режимы работы, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;	Умение рассчитывать основные режимы работы, регулировочные и внешние характеристики преобразователей	Способен компоновать и рассчитывать схемы силовых преобразователей; Рассчитывать основные режимы работы, регулировочные и внешние характеристики всех типов силовых преобразователей электрической энергии;
	Владеет	Методикой настройки основных параметров силовых преобразователей, определением параметров и настройкой их схем управления.	Владение методикой настройки основных параметров силовых преобразователей	Способен Теоретически определить необходимые параметры схемы управления преобразователями и произвести настройку ее параметров.

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания  
результатов освоения дисциплины**

№ п/п	Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	УО-1	Собеседование	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	ПР-5	Курсовой проект	Продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.	Тематика КП
3	ПР-6	Лабораторная работа	Средство для закрепления и практического освоения материала по определенному разделу	Комплект лабораторных заданий
4	ПР-11	Кейс-задача	Проблемное задание, в котором обучающемуся предлагается осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы.	Задания для решения кейс-задачи

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме устных опросов, отчетов к лабораторным работам по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Анализ цепей с диодами и тиристорами методом припасовывания. Его достоинства и недостатки.

1. Гармонический анализ цепей с диодами и тиристорами. Метод основной гармоники. Ограничения в применении метода.

2. Тиристор. Принцип работы и характеристики цепи управления.

3. Работа неуправляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.

4. Работа неуправляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.

5. Работа управляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.

6. Работа управляемой двухфазной схемы выпрямления в инверторном режиме.

7. Средний ток и среднее напряжение двухфазной схемы выпрямления. Расчетная мощность трансформатора.

8. Работа неуправляемой трехфазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.

9. Работа управляемой трехфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.

10. Работа управляемой трехфазной схемы выпрямления на источник тока.

11. Работа неуправляемой шестифазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.
12. Работа управляемой шестифазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.
13. Выходное напряжение  $m$ -фазного управляемого тиристорного преобразователя. Регулировочные характеристики.
14. Высшие гармоники выходного напряжения и входного тока преобразователя.
15. Процесс коммутации и его влияние на выходное напряжение в преобразователе.
16. Коэффициент мощности неуправляемого выпрямителя и тиристорного преобразователя
17. Емкостной фильтр. Угол проводимости диодов. Определение среднего напряжения.
18. Емкостной фильтр. Определение коэффициента пульсаций. Выбор емкости фильтра.
19. Методика анализа сложных фильтров с использованием понятия коэффициента передачи.
20. ШИМ с искусственной коммутацией напряжения с использованием дополнительного тиристора
21. ШИМ с искусственной коммутацией тока и с использованием дополнительного тиристора
22. Функциональная схема и принцип работы нереверсивного ШИМ на активную нагрузку.
23. Схемные решения выходных каскадов ШИМ на транзисторах.
24. Схема потенциальной развязки выходных каскадов ШИМ от схемы управления.
25. Работа нереверсивного ШИМ на двигательную нагрузку, режимы непрерывного и прерывистого тока.
26. Функциональная схема и принцип работы реверсивного ШИМ с совместным управлением на активную нагрузку.
27. Реверсивный ШИМ с совместным управлением. Работа силовых элементов при активно-индуктивной нагрузке.
28. Функциональная схема и принцип работы реверсивного ШИМ с отдельным управлением на активную нагрузку.

29. Работа реверсивного ШИМ с отдельным управлением на активно-индуктивную нагрузку.
30. Схема и работа повышающего ШИМ.
31. Однофазный мостовой инвертор напряжения на полностью управляемых приборах и активно-индуктивной нагрузке.
32. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой.
33. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой и обратными диодами.
34. Формирование выходного напряжения в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при угле проводимости 180 градусов.
35. Формирование выходного напряжения в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при угле проводимости 120 градусов.
36. Формирование выходного напряжения в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при угле проводимости 150 градусов.
37. Процесс запирающего тиристоры в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при общей коммутационной цепи.
38. Принцип управления автономным инвертором с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией.
39. Принцип работы СИФУ на базе магнитного усилителя. Принцип работы СИФУ на базе фазовращателя.
40. Работа формирователя пилы из напряжения сети в БФИ. Работа компаратора БФИ на транзисторах.
41. Формирователь длительности импульсов на базе блокинг-генератора в транзисторном БФИ.
42. Формирование синусоидального опорного напряжения и напряжения ограничения угла в БФИ.
43. Формирование длительности импульса и работа усилительных каскадов в БФИ на операционных усилителях.
44. Формирование пилы и работа компаратора в БФИ на операционных усилителях.
45. Синхронизация трехфазного мостового тиристорного преобразователя.
46. Уменьшение высших гармоник в инверторе путем суммирования напряжения от нескольких инверторов.

47. Схема с высокочастотным инвертором и переключением отводов трансформатора для снижения высших гармоник.
48. Улучшение качества выходного напряжения с использования фильтра основной гармоники.
49. Улучшение качества выходного напряжения с использования резонансных фильтров.
50. Регулирование переменного напряжения путем коммутации обмоток трансформатора
51. Регулятор переменного напряжения с модуляцией-демодуляцией напряжения
52. Несимметричная двухфазная схема выпрямления (полууправляемый однофазный мост).
53. Несимметричная 6-ти фазная схема выпрямления (полууправляемый трехфазный мост).
54. Импульсный источник питания. Работа блокинг-генератора.
55. Импульсный источник питания. Стабилизация выходного напряжения.

### **Критерии оценки устного опроса**

100-85 баллов – если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

85-76 баллов – ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

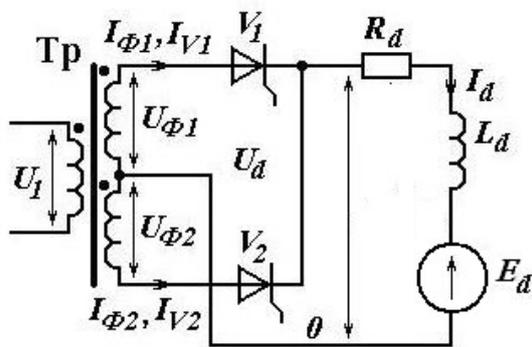
75-61 балл – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных

вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

60-50 баллов – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

### Контрольные задания к практике

#### Задача 1-1



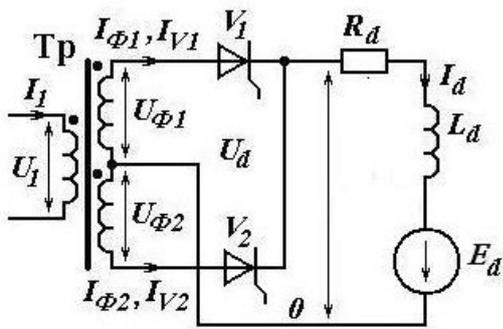
Преобразователь со схемой соединения рис. 1-1, питает нагрузку, состоящую из резистора с сопротивлением  $R_d$ , реактора с индуктивностью  $L_d$  и противо-ЭДС  $E_d$ . Каково должно быть значение индуктивности  $L_d$  для обеспечения режима непрерывного тока?

Рис. 1-1 Двухфазная нулевая схема выпрямления

Дано:  $U_\phi - U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = 220$  В,  $E_d = 62.5$  В,  $R_d = 1$  Ом,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $f = 50$  Гц.

Определить среднее значение тока нагрузки. Трансформатор и вентили идеальные.

#### Задача 1-2

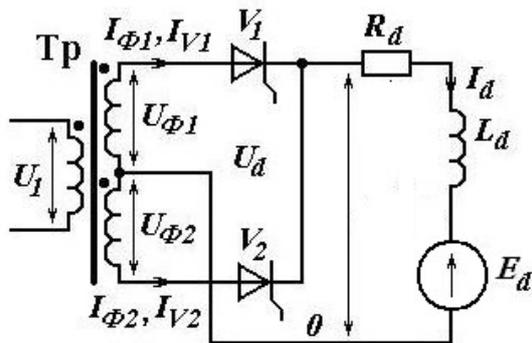


Построить кривые и определить значения выпрямленного напряжения  $U_d$ , выпрямленного тока  $I_d$  и действующих значений токов сетевой и вентильной обмоток преобразовательного трансформатора в схеме, показанной на рис. 1-2. Трансформатор и вентили идеальные,

Рис. 1-2 Двухфазная нулевая схема выпрямления

Дано:  $U_\phi = U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = 220$  В,  $E_d = 200$  В,  $R_d = 1$  Ом,  $\alpha = 150^\circ$ ,  $f = 50$  Гц,  $L_d = \infty$ .

### Задача 1-3



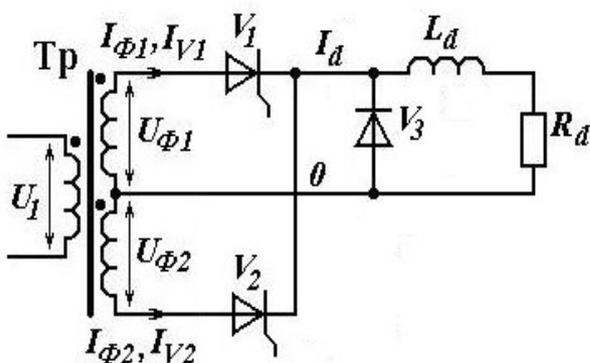
Резистор с сопротивлением  $R_d = 0.2$  Ом и сглаживающий реактор с индуктивностью  $L_d = \infty$ , присоединены к цепи постоянного тока преобразователя со схемой соединения рис. 1-3, работающего в инверторном режиме.

выпрямления

Рис. 1-2 Двухфазная нулевая схема

Какой угол управления должен быть установлен, чтобы противо-ЭДС источника постоянного тока равнялась  $E_d = 80$  В, а среднее значение выпрямленного тока было 200 А? Напряжение вентильной полуобмотки трансформатора  $U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = 200$  В, индуктивность коммутации  $L_a = 1$  мГн. Вентили и электрическая монтажная схема идеальные. Определить угол коммутации  $\delta$ . Построить кривые тока в одном тиристоре и напряжения на его выводах для вычисленного угла управления и коммутации.

### Задача 1-4



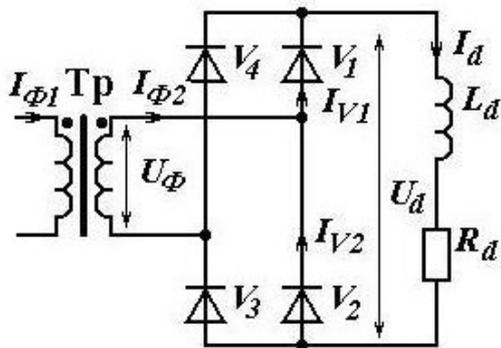
Управляемый выпрямитель со схемой соединений рис. 1-4 и шунтирующим диодом работает на нагрузку, состоящую из последовательно соединенных

реактора с индуктивностью  $L_d = \infty$  и резистора с сопротивлением  $R_d = 20$  Ом. Действующее значение напряжения вентильной обмотки идеального трансформатора  $U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = 110$  В, угол управления  $\alpha = 30^\circ$ .

Рис. 1-4 Двухфазная нулевая схема выпрямления с шунтирующим диодом

Построить: кривые выпрямленного напряжения, токов двух тиристоров и тока шунтирующего диода. Вентили идеальные. Определить средние токи тиристора и шунтирующего диода

### Задача 1-5



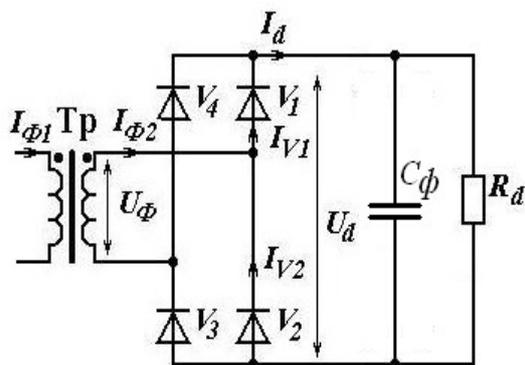
Построить кривые выпрямленного напряжения  $U_d$  и тока нагрузки  $I_d$  для однофазной мостовой схемы, показанной на рис. 1-5, а также кривую тока  $I_{\phi 2}$  вентильной обмотки трансформатора. Определить среднее значения тока нагрузки  $I_d$  и тока диода  $I_{V,CP}$ , действующие значения тока

диода  $I_{V,эф}$  и тока  $I_{\phi 1}$ , а также угол коммутации  $\delta$  при условии, что  $U = 110$  В,  $R_d = 5$  Ом,  $f = 50$  Гц, вентили идеальные,

Рис. 1-5 Двухфазная мостовая неуправляемая схема выпрямления

- а)  $L_d = 0$ ,  $L_{\phi} = 0$  мГн, б)  $L_d = \infty$ ,  $L_{\phi} = 0$  мГн, в)  $L_d = \infty$ ,  $L_{\phi} = 2$  мГн.

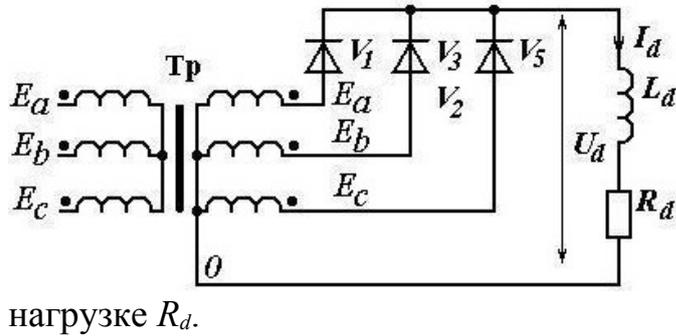
### Задача 1-6



Построить кривые выпрямленного напряжения  $U_d$  и тока нагрузки  $I_d$  для однофазной мостовой схемы, показанной на рис. 1-6, а также кривую тока  $I_{\phi 2}$  вентильной обмотки трансформатора. Определить угол отсечки  $\epsilon$ , среднее значения тока нагрузки  $I_d$  и тока диода

$I_{V,CP}$ , действующее значения тока диода  $I_{V,ЭФ}$  и тока  $I_{Ф1}$ , при условии:  
 $U_{\phi} = U_{\phi1} = U_{\phi2} = 220$  В,  $R_d = 20$  Ом,  $f = 50$  Гц,  $C_{\phi} = 0.01$  Ф,  $R_{\phi} = 0.2$  Ом.

**Задание 1-7**

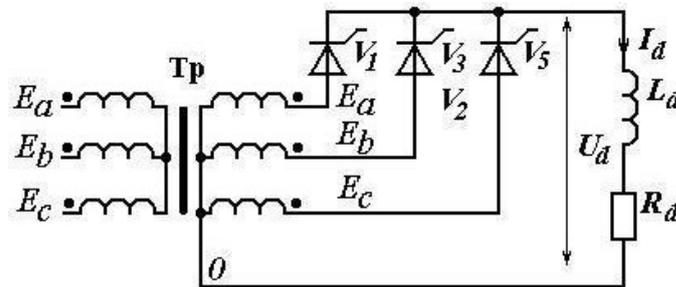


Определить коэффициент пульсаций напряжения  $U_d$ .  
 Рассчитать величину индуктивности  $L_d$ , обеспечивающую коэффициент пульсаций  $q_H$  напряжения на нагрузке  $R_d$ .

Дано:  $U_{\phi} = 220$  В,  $R_d = 10$  Ом,  $q_H = 0.02$ ,  $f = 50$  Гц.

Построить диаграммы напряжения  $u_d$  и напряжения на нагрузке  $R_d$ .

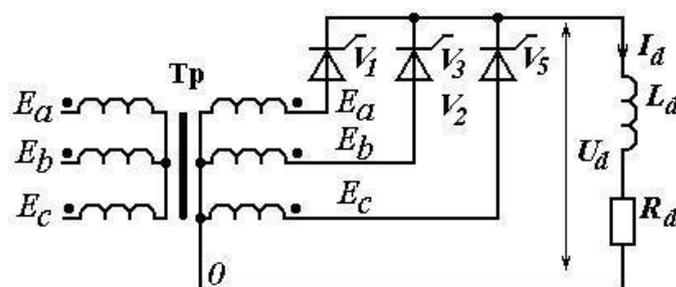
**Задание 1-8**



Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение

тока  $I_d$ , среднее и действующее значение тока тиристора  $I_{V1}$ . Тиристоры и трансформатор идеальны. Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации. Дано:  $U_{\phi} = 220$  В,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $R_d = 50$  Ом,  $L_d = \infty$ .

**Задание 1-9**

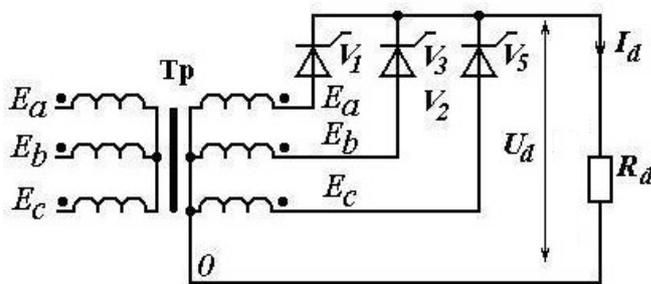


Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора.

Рассчитать угол коммутации  $\gamma$ , среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее значение тока тиристора  $I_{VT}$ . Тиристоры и трансформатор идеальны. Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации.

Дано:  $U_\phi=110$  В,  $\alpha =45^\circ$ ,  $R_d=30$  Ом,  $L_d =\infty$ , индуктивность фазы трансформатора  $L_a =10$  мГн.

### Задание 1-10

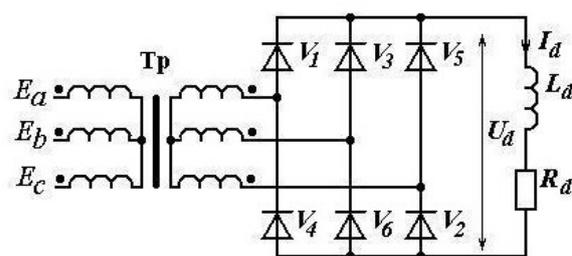


Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее

значение тока тиристора  $I_{VT}$  действующее значение тока первичной обмотки трансформатора. Тиристоры и трансформатор идеальны. Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации.

Дано:  $U_\phi=220$  В,  $\alpha =80^\circ$ ,  $R_d=20$  Ом.

### Задание 1-11

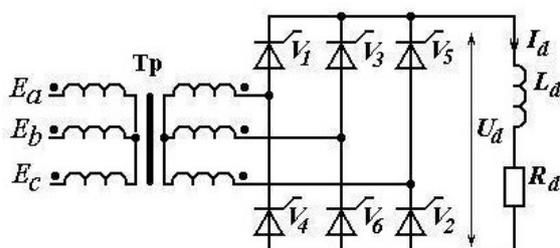


Определить коэффициент пульсаций напряжения  $U_d$ . Рассчитать величину индуктивности  $L_d$ , обеспечивающую коэффициент пульсаций  $q_H$  напряжения на нагрузке  $R_d$ .

Дано:  $U_\phi=220$  В,  $R_d=10$  Ом,  $q_H=0.01$ .

Построить диаграммы напряжения  $u_d$  и напряжения на нагрузке  $R_d$ .

### Задание 1-12

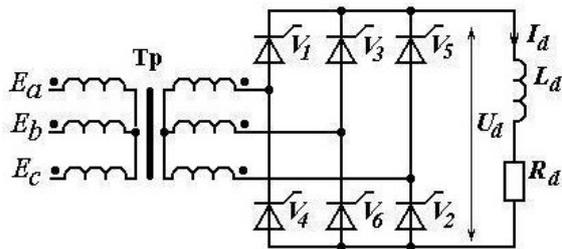


Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной

обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее и действующее значение тока тиристора  $I_{VT}$  и действующее значение тока первичной обмотки трансформатора. Тиристоры и трансформатор идеальны. Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации.

Дано:  $U_\phi=110$  В,  $\alpha =60^\circ$ ,  $R_d=15$  Ом,  $L_d =0$ .

### Задание 1-13



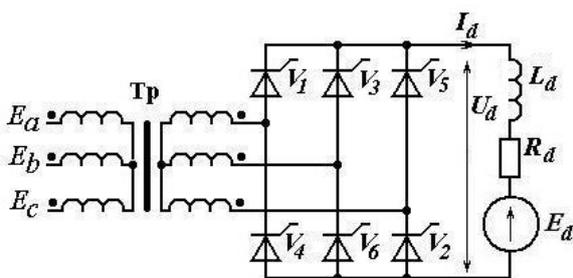
Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее и действующее значение тока тиристора

$I_{VT}$  и действующее значение тока первичной обмотки трансформатора.

Тиристоры и трансформатор идеальны. Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации.

Дано:  $U_\phi=220$  В,  $\alpha =70^\circ$ ,  $R_d=10$  Ом,  $L_d =\infty$ .

### Задание 1-14



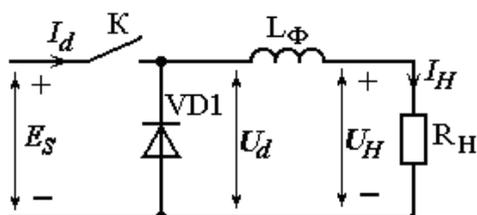
Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее и действующее значение тока тиристора  $I_{VT}$  и действующее значение тока первичной

обмотки трансформатора. Тиристоры и трансформатор идеальны.

Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации.

Дано:  $U_\phi=220$  В,  $\alpha =70^\circ$ ,  $R_d=10$  Ом,  $E_d=90$ ,  $L_d =\infty$

### Задание 2-1а

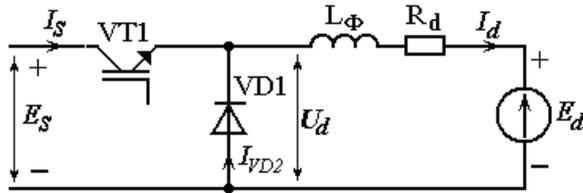


Определить напряжение  $U_d$ , амплитуду первой гармоники и коэффициент пульсаций  $q_d$  напряжения  $U_d$ , индуктивность

$L_\phi$ , обеспечивающую коэффициент пульсаций  $q_H$  на сопротивлении  $R_H$ , значения токов  $I_{d0}$ ,  $I_{dK}$ .

Дано:  $E_S=100$  В,  $R_H=25$  Ом,  $\gamma=0.3$ ,  $q_H=0.1$ ,  $f=2000$  Гц.

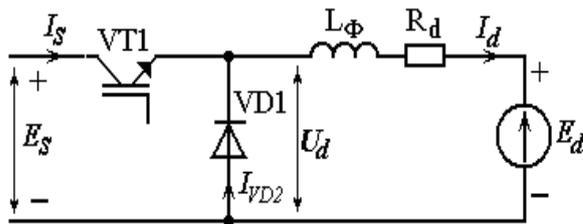
**Задание 2-2а**



Найти: напряжение  $U_d$ , Э.Д.С.  $E_d$ , токи  $I_{dзр}$ ,  $I_{d0}$ ,  $I_{dK}$ .

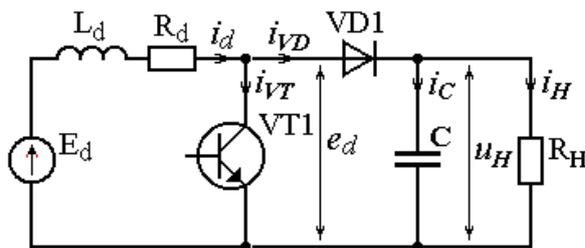
Дано:  $E_S=150$  В,  $R_d=0.5$  Ом,  $\gamma=0.6$ ,  $L_\phi=0.01$  Гн,  $f=2000$  Гц.

**Задание 2-3а** Дано:  $E_S=100$  В,  $R_d=1$  Ом,  $\gamma=0.8$ ,  $E_d=70$  В  $f=2000$  Гц.



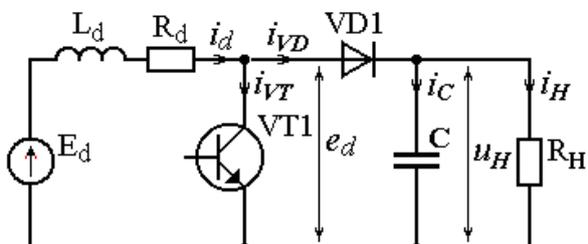
Индуктивность  $L_\phi$  обеспечивает граничный ток. Найти: напряжение  $U_d$ , токи  $I_{dзр}$ ,  $I_{d0}$ ,  $I_{dK}$ , индуктивность  $L_\phi$  обеспечивающую граничный ток.

**Задание 2-4а** Дано:  $E_d=250$  В,  $R_d=0.4$  Ом,  $\gamma=0.6$ ,  $R_H=20$ ,  $C=0.001$ ,  $f=1000$  Гц.



**Найти:** средний ток и среднее напряжение на нагрузке, средний ток  $I_d$  и его первую гармонику, коэффициент пульсаций напряжения нагрузки.

**Задание 2-5а** Дано:  $E_d=150$  В,  $R_d=0.5$  Ом,  $I_d=25$ ,  $U_H=250$ .



Найти: относительную длительность включения транзистора  $\bar{\delta}$ , ток нагрузки  $I_H$ , сопротивление нагрузки  $R_H$ .

**Задание 3-1а** Дано:  $E_S=200$  В;  $R_H=10$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=50$  Гц. Для схемы рис.1, при включении транзисторов согласно рис.2:

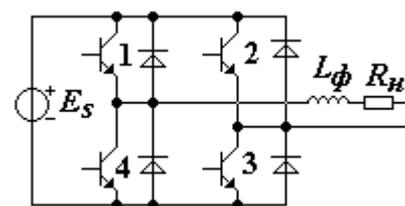


Рис.1

1. Построить временные диаграммы напряжения и тока при активно-индуктивной нагрузке.
2. Показать примерные интервалы работы диодов.
3. Вычислить первые гармоники напряжения и тока нагрузки.

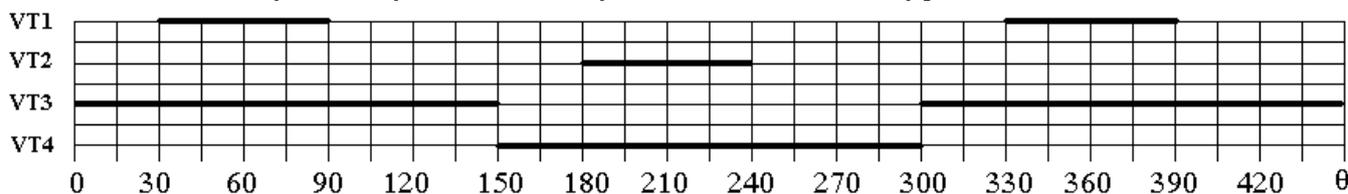


Рис.2

**Задание 3-2а** Дано:  $E_S=300$  В;  $R_H=5$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=100$  Гц. Для схемы рис.1, при включении транзисторов согласно рис.2:

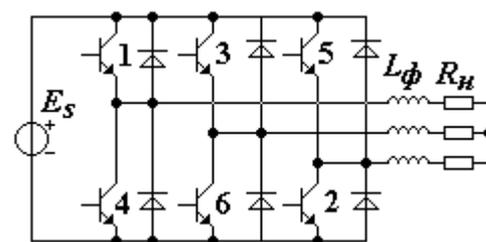


Рис.1

1. Построить временные диаграммы фазного напряжения и фазного тока при активно-индуктивной нагрузке.
2. Показать примерные интервалы работы диодов.
3. Вычислить первые гармоники фазного напряжения и тока нагрузки.

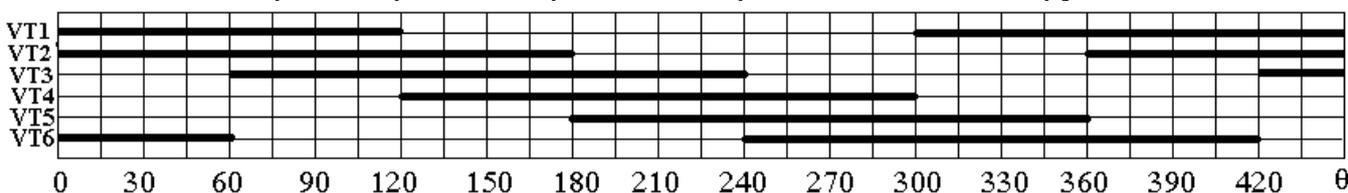


Рис.2

**Задание 3-3а** Дано:  $E_S=200$  В;  $R_H=40$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=20$  Гц. Для схемы рис.1, при включении транзисторов согласно рис.2:

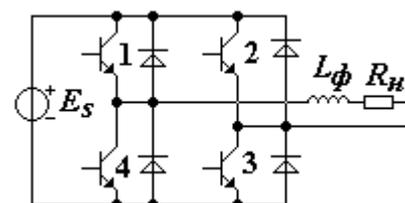


Рис.1

1. Построить временные диаграммы напряжения и тока нагрузки при активно-индуктивной нагрузке.
2. Показать примерные интервалы работы диодов.
3. Вычислить первые гармоники фазных напряжения и тока нагрузки

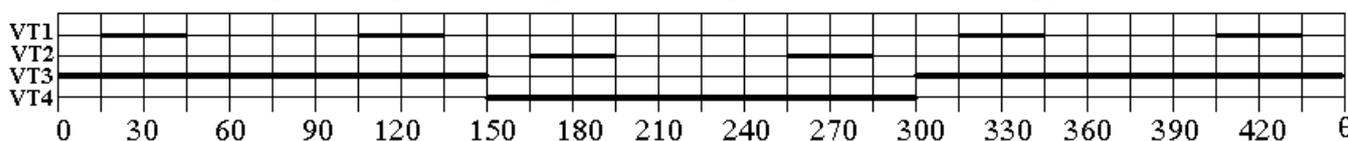
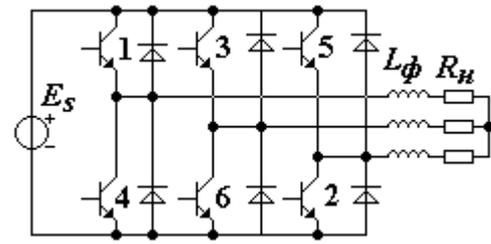


Рис. 2

**Задание 3-4а** Дано:  $E_S=200$  В;  $R_H=10$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=75$  Гц. Для схемы рис.1, при включении транзисторов согласно рис.2:



1. Построить временные диаграммы напряжения и тока нагрузки при активно-индуктивной нагрузке.
2. Показать примерные интервалы работы диодов.
3. Вычислить первые гармоники фазных напряжения и тока нагрузки Рис.1

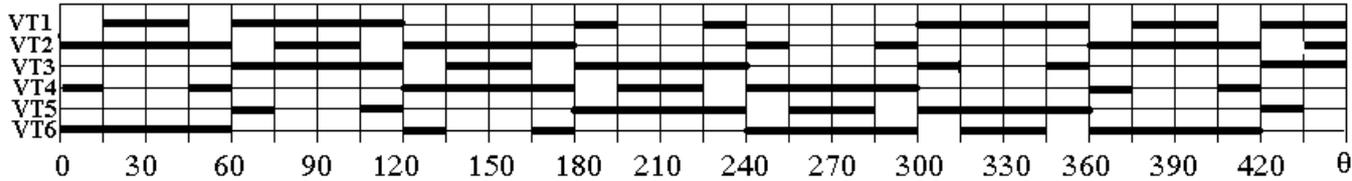
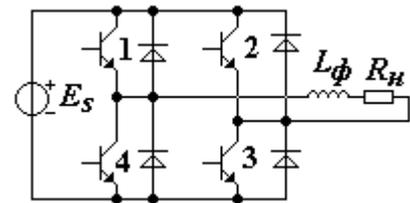


Рис. 2

**Задание 3-5а** Дано:  $E_S=300$  В;  $R_H=20$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=40$  Гц. Для схемы рис.1, при включении транзисторов согласно рис.2:



4. Построить временные диаграммы напряжения и тока при активно-индуктивной нагрузке.
5. Показать примерные интервалы работы диодов.
6. Вычислить первые гармоники напряжения и тока нагрузки.

Рис.1

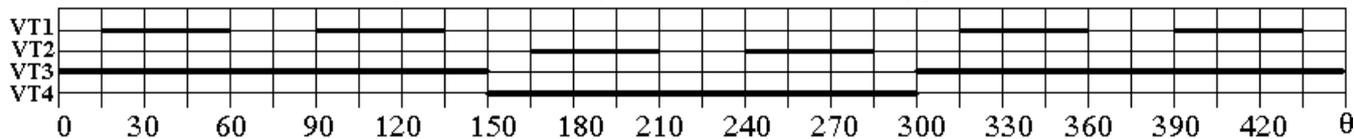
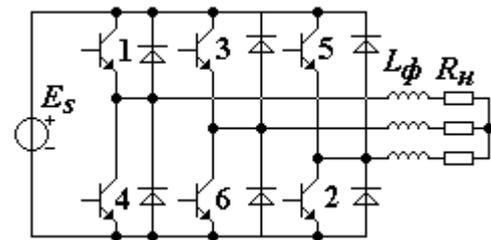


Рис. 2

**3-6а** Дано:  $E_S=300$  В;  $R_H=20$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=100$  Гц. Для схемы рис.1, при включении транзисторов согласно рис.2:



4. Построить временные диаграммы фазного напряжения и фазного тока при активно-индуктивной нагрузке.
5. Показать примерные интервалы работы диодов.
6. Вычислить первые гармоники фазных напряжения и тока нагрузки.

Рис.1

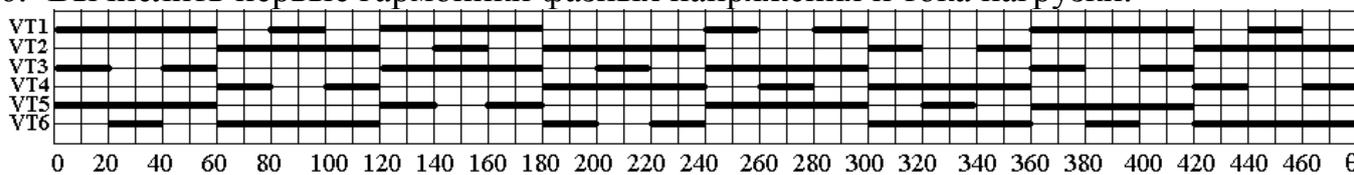
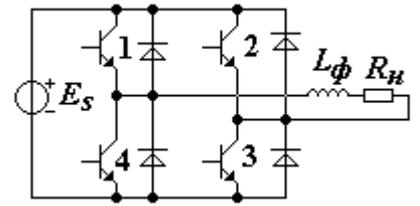


Рис. 2

**Задание 3-7а** Дано:  $E_S=200$  В;  $R_H=20$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=30$  Гц. Для схемы рис.1 при временной диаграмме рис.2 составить логические уравнения для управления транзисторами VT1-VT4 и замыкания нагрузки в паузе. Для управления использовать выходы дешифратора Q0-Q11. Построить диаграммы включения транзисторов. Рис.1



Рассчитать первую гармонику напряжения и тока нагрузки.

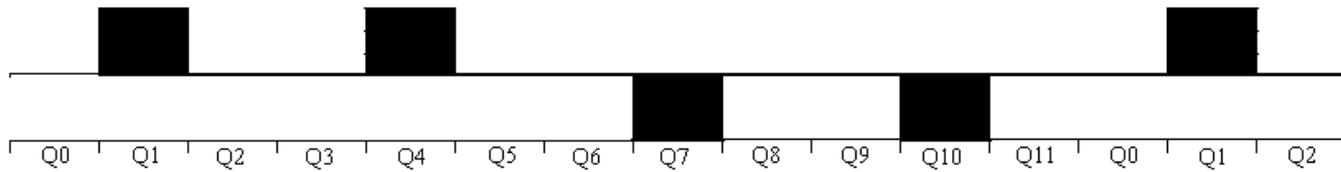
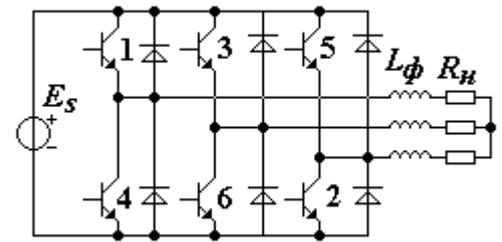


Рис.2

**Задание 3-8а** Дано:  $E_S=300$  В;  $R_H=20$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=40$  Гц. Для схемы рис.1 при временной диаграмме фазного напряжения рис.2:



1. Построить диаграммы включения транзисторов VT1-VT6 при замыкания нагрузки в паузе.
2. Рассчитать первую гармонику напряжения и тока нагрузки.

Рис.1

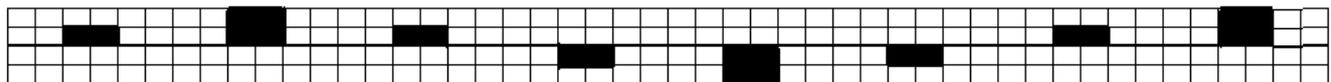
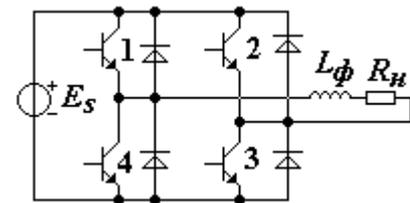


Рис.2

**Задание 3-9а** Дано:  $E_S=100$  В;  $R_H=10$  Ом;  $L_\phi=0,02$  Гн;  $f=50$  Гц. Уравнения включения транзисторов:

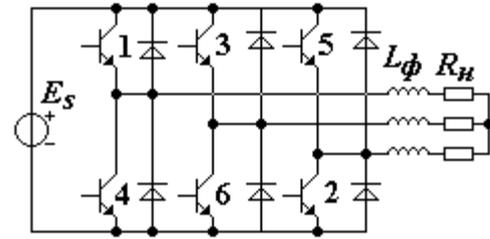
$$VT1=Q0+Q1+Q2+Q3+Q4+Q5; VT3=Q0+Q2+Q4;$$

$$VT2=Q6+Q7+Q8+Q9+Q10+Q11; VT4=Q6+Q8+Q10$$



1. Построить временные диаграммы включения транзисторов, напряжение и примерный ток нагрузки.
2. Рассчитать первую гармонику напряжения и тока нагрузки.

**Задание 3-10а** Дано:  $E_s=300$  В;  $R_H=5$  Ом;  $L_\phi=0,01$  Гн;  $f=75$  Гц. Для схемы рис.1, при включении транзисторов согласно рис.2:



4. Построить временные диаграммы напряжения и тока нагрузки при активно-индуктивной нагрузке.
5. Показать примерные интервалы работы диодов.
6. Вычислить первые гармоники фазных напряжения и тока нагрузки

Рис 1

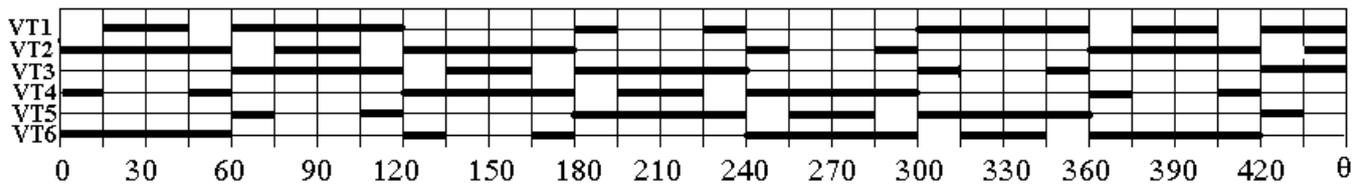
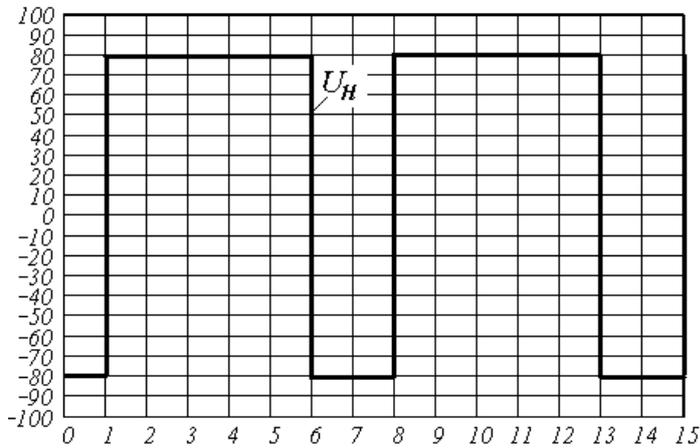


Рис. 2

**Задание 2-6а** Дано:  $f=2000$  Гц,  $R_H=5$  Ом

Найти среднее значение напряжения  $U_H$  и амплитуду первой гармоники  $U_{H(1)}$ , ток нагрузки  $I_H$ .



## Критерии оценки курсовой работы по дисциплине

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов (удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
<b>Критерии</b>	<b>Содержание критериев</b>			
<b>Выполнение курсового проекта</b>	Проект не выполнен	Проект выполнен не полностью. Выводы не сделаны	Проект выполнен в соответствии с заданием. Не все выводы сделаны и обоснованы	Проект выполнен в соответствии с требованиями, аккуратно, все расчёты правильные, графическая часть представлена в полном объёме с использованием графического редактора. Выводы обоснованы
<b>Представление</b>	Проект не представлен	Представленные расчёты и чертежи не последовательны и не систематизированы	Представленные расчёты выполнены последовательно, систематизированы Графическая часть выполнена с помощью графических редакторов с небольшими недочётами	Проект представлен в виде отчета со всеми пояснениями и чертежами Все расчёты выполнены с помощью компьютерных программ)
<b>Оформление</b>	Проект не оформлен	Оформление ручное, частичное использование информационных технологий (Word, ACAD)	Оформление с помощью компьютерных технологий, но небрежное	Широко использованы технологии (WORD, ACAD,).  Отсутствуют ошибки в представляемой информации
<b>Ответы на вопросы</b>	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные, хорошо ориентируется в теоретическом материале, приведены примеры и соответствующие пояснения. Использована дополнительная литература

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проводится в

соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

### **Вопросы к экзамену по дисциплине «Силовая электроника»**

1. Анализ цепей с диодами и тиристорами методом припасовывания. Его достоинства и недостатки.

2. Гармонический анализ цепей с диодами и тиристорами. Метод основной гармоники. Ограничения в применении метода.

3. Тиристор. Принцип работы и характеристики цепи управления.

4. Работа неуправляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.

5. Работа неуправляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.

6. Работа управляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.

7. Работа управляемой двухфазной схемы выпрямления в инверторном режиме.

8. Средний ток и среднее напряжение двухфазной схемы выпрямления. Расчетная мощность трансформатора.

9. Работа неуправляемой трехфазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.

10. Работа управляемой трехфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.

11. Работа управляемой трехфазной схемы выпрямления на источник тока.

12. Работа неуправляемой шестифазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.

13. Работа управляемой шестифазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.

14. Выходное напряжение  $m$ -фазного управляемого тиристорного преобразователя. Регулировочные характеристики.

15. Высшие гармоники выходного напряжения и входного тока преобразователя.

16. Процесс коммутации и его влияние на выходное напряжение в преобразователе.

17. Коэффициент мощности неуправляемого выпрямителя и тиристорного преобразователя
18. Емкостной фильтр. Угол проводимости диодов. Определение среднего напряжения.
19. Емкостной фильтр. Определение коэффициента пульсаций. Выбор емкости фильтра.
20. Методика анализа сложных фильтров с использованием понятия коэффициента передачи.
21. ШИМ с искусственной коммутацией напряжения с использованием дополнительного тиристора
22. ШИМ с искусственной коммутацией тока и с использованием дополнительного тиристора
23. Функциональная схема и принцип работы нереверсивного ШИМ на активную нагрузку.
24. Схемные решения выходных каскадов ШИМ на транзисторах.
25. Схема потенциальной развязки выходных каскадов ШИМ от схемы управления.
26. Работа нереверсивного ШИМ на двигательную нагрузку, режимы непрерывного и прерывистого тока.
27. Функциональная схема и принцип работы реверсивного ШИМ с совместным управлением на активную нагрузку.
28. Реверсивный ШИМ с совместным управлением. Работа силовых элементов при активно-индуктивной нагрузке.
29. Функциональная схема и принцип работы реверсивного ШИМ с отдельным управлением на активную нагрузку.
30. Работа реверсивного ШИМ с отдельным управлением на активно-индуктивную нагрузку.
31. Схема и работа повышающего ШИМ.
32. Однофазный мостовой инвертор напряжения на полностью управляемых приборах и активно-индуктивной нагрузке.
33. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой.
34. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой и обратными диодами.
35. Формирование выходного напряжения в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при угле проводимости 180 градусов.

36.Формирование выходного напряжения в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при угле проводимости 120 градусов.

37.Формирование выходного напряжения в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при угле проводимости 150 градусов.

38.Процесс запираания тиристоров в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при общей коммутирующей цепи.

39.Принцип управления автономным инвертором с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией.

40.Принцип работы СИФУ на базе магнитного усилителя. Принцип работы СИФУ на базе фазовращателя.

41.Работа формирователя пилы из напряжения сети в БФИ. Работа компаратора БФИ на транзисторах.

42.Формирователь длительности импульсов на базе блокинг-генератора в транзисторном БФИ.

43.Формирование синусоидального опорного напряжения и напряжения ограничения угла в БФИ.

44.Формирование длительности импульса и работа усилительных каскадов в БФИ на операционных усилителях.

45.Формирование пилы и работа компаратора в БФИ на операционных усилителях.

46.Синхронизация трехфазного мостового тиристорного преобразователя.

47.Уменьшение высших гармоник в инверторе путем суммирования напряжения от нескольких инверторов.

48.Схема с высокочастотным инвертором и переключением отводов трансформатора для снижения высших гармоник.

49.Улучшение качества выходного напряжения с использования фильтра основной гармоники.

50.Улучшение качества выходного напряжения с использования резонансных фильтров.

51.Регулирование переменного напряжения путем коммутации обмоток трансформатора

52.Регулятор переменного напряжения с модуляцией-демодуляцией напряжения

53.Несимметричная двухфазная схема выпрямления (полууправляемый однофазный мост).

54. Несимметричная 6-ти фазная схема выпрямления (полууправляемый трехфазный мост).

55. Импульсный источник питания. Работа блокинг-генератора.

56. Импульсный источник питания. Стабилизация выходного напряжения.

### Критерии выставления оценки студенту на экзамене

#### по дисциплине «Силовая электроника»:

<b>Баллы</b> (рейтинговой оценки)	<b>Оценка экзамена</b> (стандартная)	<b>Требования к сформированным компетенциям</b> <i>Дописать оценку в соответствии с компетенциями. Привязать к дисциплине</i>
<b>100 - 86</b>	<b>«отлично»</b>	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он твердо знает схемные решения и основные параметры силовых преобразователей, способен рассчитать их силовую часть. Умеет использовать все методы определения выходных и регулировочных характеристик силовых преобразователей. Способен планировать эксперименты по исследованию силовых преобразователей.
<b>85 - 76</b>	<b>«хорошо»</b>	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает схемные решения и основные параметры силовых преобразователей, способен рассчитать их силовую часть при наличии готовой методики. Умеет использовать один из методов анализа силовых преобразователей. Способен выполнить экспериментальное исследование силовых преобразователей при наличии готовой методики.
<b>75 - 61</b>	<b>«удовлетворительно»</b>	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет поверхностные знания только основного материала, с трудом выполняет расчеты силовых преобразователей, допускает неточности, испытывает затруднения при выборе электронных приборов.
<b>60 и менее</b>	<b>«неудовлетворительно»</b>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки в определениях, не может выполнить расчеты электронных устройств. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных

		занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--