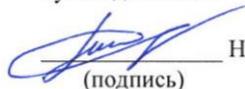




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОП

  
Н.И. Игнатъев  
(подпись)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Департамента энергетических систем

  
К.А. Штым  
(подпись)  
22 декабря 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Силовая электроника

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Современные системы электроприводов

Форма подготовки: очная

курс 1 семестр 1  
лекции 18 час.  
практические занятия 18 час.  
лабораторные работы 18 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 54 час.  
самостоятельная работа 72 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 54 час.  
курсовая работа 1 семестр  
зачет не предусмотрен  
экзамен 1 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденного приказом Минобрнауки России от 28 февраля 2018 г. №147.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента энергетических систем, протокол от 22 декабря 2021 г. №3.

Директор департамента  
Составитель: к.т.н. доцент

К.А. Штым  
А.М. Ханнанов

Владивосток  
2022

Оборотная сторона титульного листа РПД

1. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента/кафедры/отделения (реализующего дисциплину) и утверждена на заседании Департамента/кафедры/отделения (выпускающего структурного подразделения), протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_
2. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента/кафедры/отделения (реализующего дисциплину) и утверждена на заседании Департамента/кафедры/отделения (выпускающего структурного подразделения), протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_
3. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента/кафедры/отделения (реализующего дисциплину) и утверждена на заседании Департамента/кафедры/отделения (выпускающего структурного подразделения), протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_
4. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента/кафедры/отделения (реализующего дисциплину) и утверждена на заседании Департамента/кафедры/отделения (выпускающего структурного подразделения), протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_
5. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента/кафедры/отделения (реализующего дисциплину) и утверждена на заседании Департамента/кафедры/отделения (выпускающего структурного подразделения), протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** изучения дисциплины является:

- изучение видов силовых преобразователей электрической энергии, овладение методикой расчета характеристик, выбора элементов, настройки и испытаний.

**Задачи дисциплины:**

- изучить схемные решения, алгоритмы работы силовых преобразователей переменного тока в постоянный ток, постоянного тока в переменный, переменного тока в переменный;

- изучить схемные решения систем управления;

- изучить характеристики элементов и схем силовых преобразователей;

- освоить методику расчета и выбора элементов силовой части преобразователей электрической энергии.

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Профессиональные компетенции выпускников

<b>Наименование категории (группы) универсальных компетенций</b>	<b>Код и наименование универсальной компетенции (результат освоения)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>
Проектный	ПК-2 – Способность формировать техническое задание на проектирование системы электропривода	ПК-2.1 – Разрабатывает частные технические задания на проектирование узлов системы электропривода

Таблица 2 – Индикаторы достижения профессиональных компетенций выпускников

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-2.1 – Разрабатывает частные технические задания на проектирование узлов системы электропривода	Знает требования нормативных правовых актов и документов системы технического регулирования к структуре, подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода
	Умеет определять структуру технического задания и частных технических заданий на проектирование системы электропривода; выбирать алгоритм и способы подготовки технического задания и частных технических заданий на разработку разделов проектной и рабочей документации системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и документов системы технического регулирования
	Владет навыками определения структуры технического задания и разработки частных технических заданий на проектирование узлов системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и документов системы технического регулирования

## II. ТРУДОЁМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов). Форма обучения – очная.

Виды учебных занятий и работы обучающегося, а также структура дисциплины приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Виды учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Лаб	Лабораторные работы
Пр	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации
ОК	Онлайн-курс

Таблица 4 – Структура дисциплины

№	Наименование раздела дисциплины	С е м е с т р	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Формы промежуточной аттестации	
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Конт роль		
1	<b>Раздел 1. Преобразователи переменного напряжения в постоянное.</b>	1	8	8	18				экзамен	
2	<b>Раздел 2. Преобразователи постоянного напряжения в постоянное</b>	1	4	2			-	72		54
3	<b>Раздел 3. Инверторы напряжения, тока и преобразователи частоты</b>	1	4	8						
4	<b>Раздел 4. Управление силовыми преобразователями</b>	1	2							
Итого:		1	18	18	18		-	72	54	экзамен

### **III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (18 часов)**

**Раздел 1. Преобразователи переменного напряжения в постоянное.  
(8 часов)**

**Тема 1. Общие сведения о силовых преобразователях (1час)**

Преобразовательные устройства как исполнительные или усилительные элементы систем управления.

Методы анализа работы преобразовательных устройств

**Тема 2. Неуправляемые и управляемые двухфазные схемы выпрямления (3 часа)**

Работа нулевой и мостовой схем на различную нагрузку.

Расчетная мощность трансформатора.

Режимы непрерывного и прерывистого тока.

Режимы выпрямителя и ведомого сетью инвертора.

**Тема 3. Многофазные схемы выпрямления с использованием метода активного обучения «лекция-беседа» (2 часа)**

Трехфазная и шестифазная схемы выпрямления.

Схемные способы реализации реверсивных тиристорных преобразователей (ТП).

Совместное и раздельное управление реверсивными преобразователями.

**Тема 4. Энергетические характеристики тиристорных преобразователей (2 часа)**

Регулировочные характеристики.

Гармонический состав напряжений и токов.

Процесс коммутации. Естественная и искусственная коммутация

Внешние характеристики и коэффициент мощности ТП.

**Раздел 2. Преобразователи постоянного напряжения в постоянное (4 часа)**

**Тема 4. Понижающие широтно-импульсные модуляторы (ШИМ) с использованием метода активного обучения «групповая консультация» (2 часа)**

Нереверсивный понижающий ШИМ.

Нереверсивный понижающий ШИМ, работающий на электродвигатель.

Реверсивный понижающий ШИМ

Регулировочные и внешние характеристики.

**Тема 5. Повышающий ШИМ с использованием метода активного обучения «групповая консультация» (2 часа)**

Схема повышающего ШИМ.

Регулировочные и внешние характеристики.

**Раздел 3. Инверторы напряжения, тока и преобразователи частоты (4 часа)**

## **Тема 6. Инверторы на полностью управляемых элементах (1 час)**

Однофазные и трехфазные инверторы напряжения.

Действующие значения и гармонический состав выходных токов и напряжений.

Схемы с индивидуальной и групповой коммутацией.

## **Тема 7. Инверторы с синусоидальным выходным напряжением (1 час)**

Принципы формирования синусоидального выходного напряжения автономного инвертора.

Инвертор на базе реверсивного тиристорного преобразователя.

Инверторы на полностью управляемых приборах.

## **Тема 8. Преобразователи частоты (ПЧ) (2 часа)**

ПЧ со звеном постоянного тока.

Непосредственные ПЧ.

Схемные способы улучшения выходного напряжения.

## **Раздел 4. Управление силовыми преобразователями (2 часа)**

### **Тема 9. Функциональные схемы силовых преобразователей (2 часа)**

Современные преобразователи частоты малой и большой мощности, низкого и среднего напряжений. Современные тиристорные преобразователи

## **IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **Практические занятия (18 часов)**

Раздел 1. Расчет силового управляемого выпрямителя с двигательной нагрузкой (18 часов)

Занятие 1. Применение метода припасовывания (2 часа)

Занятие 2. Расчет гармонического состава выходного напряжения выпрямителя. (4 часа)

Занятие 3. Расчет силового трансформатора (2 часа)

Занятие 4. Расчет предельных режимов и выбор тиристорov, с использованием метода активного обучения «развернутая беседа с обсуждением решенной задачи» (2 часа)

Занятие 5. Расчет внешних характеристик и сглаживающего реактора, с использованием метода активного обучения «развернутая беседа с обсуждением решенной задачи» (4 часа)

Занятие 6. Разработка принципиальной схемы и выбор элементов принципиальной схемы (4 часа)

### **Лабораторные работы (18 часов)**

**Лабораторная работа № 1. Неуправляемые и управляемые полупроводниковые выпрямители (8 часов)**

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. Нереверсивные транзисторные широтно-импульсные модуляторы, с использованием интерактивного метода обучения – «групповая консультация» (2 часа)**

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

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

**Лабораторная работа № 3. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой (2 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 № 4. Автономный трехфазный инвертор напряжения (2 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 № 5. Корректор коэффициента мощности, с использованием интерактивного метода обучения – «групповая консультация» (4 часа)**

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

### **Самостоятельная работа (126 часов)**

#### **Раздел 1. Преобразователи переменного напряжения в постоянное. (50 часов)**

1. Подготовка конспекта по выбранной тематике.
2. Подготовка к лабораторным работам
3. Подготовка к экспресс контрольным работам
4. Расчет и оформление курсовой работы
5. Подготовка к сдаче экзамена (вопросы 1-18).

#### **Раздел 2. Преобразователи постоянного напряжения в постоянное (12 часов)**

1. Подготовка конспекта по выбранной тематике.
2. Подготовка к лабораторным работам
3. Подготовка к экспресс контрольным работам
4. Подготовка к сдаче экзамена (вопросы 19-29).

#### **Раздел 3. Автономные инверторы напряжения, тока и преобразователи частоты (6 часа)**

1. Подготовка конспекта по выбранной тематике.
2. Подготовка к лабораторным работам
3. Подготовка к экспресс контрольным работам
4. Подготовка к сдаче экзамена (вопросы 30-36).

#### **Раздел 4. Управление силовыми преобразователями (2 часа)**

1. Подготовка конспекта по выбранной тематике.

2. Подготовка к экспресс контрольным работам
3. Подготовка к сдаче экзамена (вопросы 37-54).

### **Подготовка к экзамену (54 часа)**

1. Повторение пройденного в рамках дисциплины материала.
2. Подготовка к промежуточной аттестации в соответствии с вопросами к экзамену.

## **V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

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

- характеристику заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

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

Материалы для самостоятельной работы студентов подготовлены в виде тем/разделов дисциплины. Типовые вопросы для подготовки конспекта создают условия для более глубокого изучения электротехнического оборудования современных подстанций.

Результаты самостоятельной работы студент выполняет в виде письменного конспекта. Цифровой материал необходимо оформлять в виде таблиц.

Изложение в конспекте должно быть сжатым, ясным и сопровождаться формулами, цифровыми данными, схемами. Материалы конспекта должны быть изложены последовательно, лаконично, логически связаны.

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

Материал представляется в следующей последовательности:

- титульный лист;
- материал по теме индивидуального задания;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Конспект выполняется на компьютере на одной стороне листа формата А4. Таблицы и схемы могут быть выполнены на листах иного формата, но должны быть аккуратно сложены по формату А4. Объем отчета составляет не более 8-10 страниц.

Титульный лист не нумеруется. На следующем листе ставится номер «2». Номер проставляется арабскими цифрами в нижнем правом углу страницы.

Допускается использование цветных рисунков, схем и диаграмм.

Текст оформляется в соответствии с требованиями делопроизводства, печатается через 1,5 интервала. Сверху страницы делается отступ 20 мм, слева – 25 мм, справа – 15 мм, снизу – 20 мм. Абзацные отступы должны быть равны 5 знакам.

Текст должен быть разделен на разделы и подразделы (заголовки 1-го и 2-го уровней), в случае необходимости – пункты, подпункты (заголовки 3-го и 4-го уровней). Заголовки должны быть сформулированы кратко. Все заголовки иерархически нумеруются.

Основной текст следует набирать шрифтом Times New Roman с обычным начертанием. Заголовки 1-го и 2-го уровней следует набирать с полужирным начертанием, заголовки 3-го и 4-го уровней – обычным. Названия рисунков и таблиц рекомендуется набирать 12 шрифтом с полужирным начертанием.

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

✓ 10-9 баллов выставляется студенту, если студент полностью раскрыл тему. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 8-7 баллов – работа выполнена полностью; допущено не более 1 ошибки при написании конспекта 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 написании конспекта 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 тексте, в оформлении работы. При защите студент не отвечает на 2-3 вопроса преподавателя.

### **Методические рекомендации по выполнению курсовой работы**

Тема курсовой работы – «Расчет автоматизированного тиристорного электропривода».

Методические рекомендации по курсовому проектированию содержат методики и последовательность выполнения элементов курсового проекта, указания по структуре и содержанию курсового проекта, требования к его объёму и оформлению, описание организации процесса курсового проектирования и советы по подготовке к защите курсового проекта.

Курсовая работа является индивидуальной работой студента, выполненной самостоятельно под руководством преподавателя, и содержит решение какой-либо частной задачи или проведение исследования, освещающего один из вопросов изучаемой дисциплины, завершающееся публичной защитой полученных результатов.

Главными целями этой формы учебной работы являются закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных студентами за время обучения, а также выработка умения самостоятельно применять эти знания комплексно для творческого решения конкретной задачи.

Курсовая работа должна содержать следующие структурные элементы:

1. Титульный лист;
2. Задание на выполнение курсовой работы;
3. Содержание;
4. Перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц, терминов;
5. Введение;
6. Основная часть;
7. Заключение;
8. Список литературы;
9. Приложения.

В зависимости от конкретного содержания и особенностей проектов по согласованию с руководителем в их структуру могут не включаться приложения или некоторые другие элементы, исключение которых не снижает ценности и обоснованности проектных решений, предложений, рекомендаций и выводов.

Общий объём курсовой работы 20-30 листов.

## VI. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Таблица 5 – Контроль достижения целей курса

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	<b>Раздел 1. Преобразование переменного напряжения в постоянное.</b>	ПК-2.1 Разрабатывает частные технические задания на проектирование узлов системы электропривода	Знает требования нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода	3,5 недели – опрос или ЭКР на лекции	Экзамен. Вопросы 1-18 перечня типовых вопросов к экзамену
			Умеет определять структуру технического задания и частных технических заданий на проектирование системы электропривода; выбирать алгоритм и способы подготовки технического задания и частных технических заданий на разработку разделов проектной и рабочей документации системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода		
			Владеет навыками определения структуры технического задания и разработки частных технических заданий на проектирование узлов системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода		
2	<b>Раздел 2. Преобразование</b>	ПК-2.1 Разрабатывает частные	Знает требования нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на	7, 9 недели – опрос или	Экзамен. Вопросы 19-29

	<b>постоянного напряжения в постоянное</b>	технические задания на проектирование узлов системы электропривода	производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода Умеет определять структуру технического задания и частных технических заданий на проектирование системы электропривода; выбирать алгоритм и способы подготовки технического задания и частных технических заданий на разработку разделов проектной и рабочей документации системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода Владеет навыками определения структуры технического задания и разработки частных технических заданий на проектирование узлов системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода	ЭКР на лекции	перечня типовых вопросов к экзамену
3	<b>Раздел 3. Автономные инверторы напряжения, тока и преобразователи частоты</b>	ПК-2.1 Разрабатывает частные технические задания на проектирование узлов системы электропривода	Знает требования нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода Умеет определять структуру технического задания и частных технических заданий на проектирование системы электропривода; выбирать алгоритм и способы подготовки технического задания и частных технических заданий на разработку разделов проектной и рабочей документации системы электропривода в	11, 13 недели – опрос или ЭКР на лекции	Экзамен. Вопросы 30-36 перечня типовых вопросов к экзамену

			соответствии с требованиями нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода		
			Владеет навыками определения структуры технического задания и разработки частных технических заданий на проектирование узлов системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода		
4	<b>Раздел 4. Управление силовыми преобразователями</b>	ПК-2.1 Разрабатывает частные технические задания на проектирование узлов системы электропривода	Знает требования нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода	15, 17 недели – блиц-опрос или ЭКР на лекции, проверка конспектов лекций	Экзамен. Вопросы 37-54 перечня типовых вопросов к экзамену
			Умеет определять структуру технического задания и частных технических заданий на проектирование системы электропривода; выбирать алгоритм и способы подготовки технического задания и частных технических заданий на разработку разделов проектной и рабочей документации системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода		
			Владеет навыками определения структуры технического задания и разработки частных технических заданий на проектирование узлов системы электропривода в соответствии с требованиями		

			нормативных правовых актов и стандартов по разработке и постановке продукции на производство, по подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода		
--	--	--	--	--	--

## VII. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Розанов, Ю. К. Силовая электроника : учебник и практикум для вузов / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов ; под редакцией Ю. К. Розанова. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 206 с. — Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/450590>

2. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: профессиональные решения / Семенов Б.Ю.. — Саратов : Профобразование, 2019. — 415 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/88008.html>

3. Фролов, Ю. М. Регулируемый асинхронный электропривод : учебное пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 464 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/212645>

### Дополнительная литература

1. 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. — Режим доступа:

[https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/289/Usolcev\\_V.K.\\_Tranzistornye\\_impulsnye\\_preobrazovateli.pdf](https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/289/Usolcev_V.K._Tranzistornye_impulsnye_preobrazovateli.pdf)

2. Мелешин В.И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / Мелешин В.И., Овчинников Д.А.. — Москва : Техносфера, 2011. — 576 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/36873.html>

3. Розанов Ю.К. Силовая электроника [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016, — 606 с.  
<https://www.studentlibrary.ru/ru/book/MPEI3.html>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Учебный центр ОВЕН : [сайт]. — Москва, 2002. — Текст. Изображение : электронные. — URL: <https://owen.ru/edu>

2. SIEMENS. Техника автоматизации : [сайт]. — Москва, 2001. — Текст. Изображение : электронные. — URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Products/10045207?tree=CatalogTree>

3. Федеральный портал «Российское образование» : [сайт]. — Москва, 2002. — Текст. Изображение : электронные. — URL: <http://www.edu.ru/>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса используется следующее программное обеспечение: Microsoft Office (Access, Excel, PowerPoint, Word и т.д.); программное обеспечение для выполнения математических расчётов Mathcad; программное обеспечение электронного ресурса сайта ДВФУ, включая ЭБС ДВФУ.

### **Программные продукты:**

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.

При осуществлении образовательного процесса используются следующие информационно справочные системы: ЭБС ДВФУ, профессиональная поисковая система JSTOR, электронная библиотека диссертаций РГБ, Научная электронная библиотека eLIBRARY, электронно-библиотечная система издательства «Лань», электронная библиотека "Консультант студента", электронно-библиотечная система IPRbooks, информационная система "ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам".

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

На изучение дисциплины «Силовая электроника» отводится 54 часа аудиторных занятий и 126 часов 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), диалог с аудиторией, устные блиц-опросы в начале лекции ориентированы на обобщение и определение взаимосвязи лекционного материала;

- **практические занятия** проводятся на основе совмещения коллективного и индивидуального обучения. На практическом занятии

студентам предлагается работать самостоятельно: изучать схемы статических преобразователей, методики расчета параметров и выбора элементов, инструкции по эксплуатации, проведению осмотров и ремонтов. Преподаватель контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения практических задач по расчету и выбору современного оборудования электроприводов. Если полученных в аудитории знаний окажется недостаточно, студент может самостоятельно повторно прочесть лекцию или соответствующие документы, просмотреть практикум с разобранными примерами;

- **самостоятельная работа** в виде подготовки к блиц-опросу, подготовки конспекта направлена на закрепление материала, изученного в ходе лекций и практических занятий.

#### **Рекомендации по подготовке к экзамену:**

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

## IX. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине проводятся в помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением.

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Специализированная лаборатория L419	<p>Специализированные многофункциональные стенды СЭА.001 РБЭ (911.1) «Силовая электроника» - 3 комплекта с измерительными приборами</p> <p>9 персональных компьютеров</p> <p>Комплект плакатов по дисциплине «Силовая электроника» - 25 шт</p>	<p>– AutoCAD 2017 – трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения;</p> <p>– Project Expert 7 Tutorial – учебная версия программы, иллюстрирующая все возможности версии Holding. Представляет собой обучающий тренажер по инвестиционному проектированию и бизнес планированию для студентов, изучающих финансы и экономику. Обладает всеми функциональными возможностями Holding, но исключая возможность коммерческого использования. Так, отсутствует экспорт данных в форматы Word, Excel, HTML, файлы txt;</p> <p>– Mathcad Prime 3.1 – стандартное отраслевое средство математического представления и расчетов, которое помогает учащимся вести практический цифровой блокнот расчетов;</p>
Компьютерный класс, Департамент энергетических систем, ауд. E524, E525	<p>Моноблок Lenovo C360 19,5 (1600x900), Core i3-4160T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 500GB HDD 7200 SATA, DVDRW, GigEth,Wi-Fi,BT,usb kbd/mse, Win10(64-bit),1-1-1 Wty</p>	
Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду (корпус А - уровень 10)	<p>Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/- RW,GigEth,Wi-Fi,BT,usb</p>	

	<p>kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty</p> <p>Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек.</p> <p>Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами, видеоувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками</p>	<p>– AUTOCAD 2017 – программный комплекс САПР для автоматизации работ на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку электротехнического и электроэнергетического оборудования;</p> <p>– Консультант – законодательство РФ кодексы и законы в последней редакции. Удобный поиск законов кодексов приказов и других документов;</p> <p>– Техэксперт Клиент – Специализированные продукты для специалистов, включающие в себя крупнейшие подборки нормативных документов и справочной информации, а также целый комплекс уникальных сервисов и услуг;</p> <p>– 7Zip 9.20 – свободный файловый архиватор с высокой степенью сжатия данных;</p> <p>– Acrobat Reader DC – пакет программ для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF;</p> <p>– Microsoft Office 365 – офисный пакет, включающий программное обеспечение для работы с различными типами документов (текстами, электронными таблицами, базами данных и др.).</p>
--	---	---

## X. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств включает в себя:

- шкалу оценивания уровня сформированности компетенций с описанием индикаторов достижения освоения дисциплины согласно заявленным компетенциям (таблица 7);
- методические рекомендации, определяющие процедуру оценивания результатов освоения дисциплины;
- перечень типовых вопросов к экзамену;
- критерии выставления оценки студенту на экзамене (таблица 8);
- критерии выставления оценки студенту за курсовую работу (таблица 9);
- примеры задач для текущего контроля;
- критерии оценки решения задач.

Таблица 7 – Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-2 – Способность формировать техническое задание на проектирование системы электропривода	знает (пороговый уровень)	требования нормативных правовых актов и документов системы технического регулирования к структуре, подготовке и оформлению технического задания на проектирование системы электропривода	знание схемных решений силовой части преобразователей электрической энергии и номенклатуру выпускаемых серийно преобразователей	способность оценить применимость конкретных схемных решений силовой части преобразователей электрической энергии и номенклатуру выпускаемых серийно преобразователей для проектируемой системы электропривода
	умеет (продвинутый)	определять структуру технического	знание основных параметров для	способность выбрать комплектующие

		<p>задания и частных технических заданий на проектирование системы электропривода; выбирать алгоритм и способы подготовки технического задания и частных технических заданий на разработку разделов проектной и рабочей документации системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и документов системы технического регулирования</p>	<p>комплектующих элементов и серийно выпускаемых преобразователей, диапазоны их вариаций.</p>	<p>элементы и серийно выпускаемые преобразователи по их параметрам исходя из специфики систем электроприводов; определить основные технические требования к проектируемым или стандартным системам электроприводов</p>
	<p><b>владеет (высокой)</b></p>	<p>навыками определения структуры технического задания и разработки частных технических заданий на проектирование узлов системы электропривода в соответствии с требованиями нормативных правовых актов и документов системы технического регулирования</p>	<p>Знание методик расчета силовой части и системы управления силовых преобразователей, методикой определения основных параметров</p>	<p>Может использовать методики расчета силовой части и системы управления для определения технических, эксплуатационных и эргономических требований технического задания к проектируемым или стандартным системам электроприводов</p>

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

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Силовая электроника» проводится в соответствии с

локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Силовая электроника» проводится в форме контрольных мероприятий (устного опроса, подготовки конспектов) 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, в том числе по выполненным лабораторным работам;

– результаты самостоятельной работы, в том числе результаты выполнения курсовой работы.

Каждому объекту оценивания присваивается конкретный балл. Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине и внесения данных в АРС. По окончании семестра студент набирает определенное количество баллов, которые переводятся в пятибалльную систему оценки.

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Силовая электроника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Согласно учебному плану видом промежуточной аттестации по дисциплине «Силовая электроника» предусмотрен экзамен, который проводится в устной форме.

### **Перечень типовых вопросов к экзамену**

1. Тиристор. Принцип работы и характеристики цепи управления.

2. Работа неуправляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.
3. Работа неуправляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.
4. Работа управляемой двухфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.
5. Работа управляемой двухфазной схемы выпрямления в инверторном режиме.
6. Средний ток и среднее напряжение двухфазной схемы выпрямления. Расчетная мощность трансформатора.
7. Работа неуправляемой трехфазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.
8. Работа управляемой трехфазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.
9. Работа управляемой трехфазной схемы выпрямления на источник тока.
10. Работа неуправляемой шестифазной схемы выпрямления на активную и активно-емкостную нагрузку.
11. Работа управляемой шестифазной схемы выпрямления на активную и активно-индуктивную нагрузку.
12. Выходное напряжение  $m$ -фазного управляемого тиристорного преобразователя. Регулировочные характеристики.
13. Высшие гармоники выходного напряжения и входного тока преобразователя.
14. Процесс коммутации и его влияние на выходное напряжение в преобразователе.
15. Коэффициент мощности неуправляемого выпрямителя и тиристорного преобразователя
16. Емкостной фильтр. Угол проводимости диодов. Определение среднего напряжения.

17. Емкостной фильтр. Определение коэффициента пульсаций. Выбор емкости фильтра.
18. Методика анализа сложных фильтров с использованием понятия коэффициента передачи.
19. ШИМ с искусственной коммутацией напряжения с использованием дополнительного тиристора
20. ШИМ с искусственной коммутацией тока и с использованием дополнительного тиристора
21. Функциональная схема и принцип работы нереверсивного ШИМ на активную нагрузку.
22. Схемные решения выходных каскадов ШИМ на транзисторах.
23. Схема потенциальной развязки выходных каскадов ШИМ от схемы управления.
24. Работа нереверсивного ШИМ на двигательную нагрузку, режимы непрерывного и прерывистого тока.
25. Функциональная схема и принцип работы реверсивного ШИМ с совместным управлением на активную нагрузку.
26. Реверсивный ШИМ с совместным управлением. Работа силовых элементов при активно-индуктивной нагрузке.
27. Функциональная схема и принцип работы реверсивного ШИМ с отдельным управлением на активную нагрузку.
28. Работа реверсивного ШИМ с отдельным управлением на активно-индуктивную нагрузку.
29. Схема и работа повышающего ШИМ.
30. Однофазный мостовой инвертор напряжения на полностью управляемых приборах и активно-индуктивной нагрузке.
31. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой.
32. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой и обратными диодами.

33. Формирование выходного напряжения в 3-х фазном автономном мостовом инверторе при угле проводимости 180 градусов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

44. Синхронизация трехфазного мостового тиристорного преобразователя.

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

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

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

48. Улучшение качества выходного напряжения с использования резонансных фильтров.

49. Регулирование переменного напряжения путем коммутации обмоток трансформатора

50. Регулятор переменного напряжения с модуляцией-демодуляцией напряжения

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

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

53. Импульсный источник питания. Работа блокинг-генератора.

54. Импульсный источник питания. Стабилизация выходного напряжения.

Таблица 8 – Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине

<b>Баллы (рейтинговой оценки)</b>	<b>Оценка зачета (стандартная)</b>	<b>Требования к сформированным компетенциям</b>
<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. Выполнил все практические задания и курсовую работу с оценками не ниже «хорошо»
<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. Выполнил все практические задания и курсовую работу с оценками «хорошо» и «удовлетворительно»

<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. Выполнил все практические задания и курсовую работу с оценками не ниже «удовлетворительно»
<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. Если студент не выполнил практические задания и курсовую работу, то к экзамену не допускается

Таблица 9 – Критерии выставления оценки студенту за курсовую работу

<b>Оценка</b>	<b>50-60 баллов (неудовлетворительно)</b>	<b>61-75 баллов (удовлетворительно)</b>	<b>76-85 баллов (хорошо)</b>	<b>86-100 баллов (отлично)</b>
<b>Критерии</b>	<b>Содержание критериев</b>			
<b>Выполнение курсовой работы</b>	Работа не выполнена	Работа выполнена не полностью. Выводы не сделаны	Работа выполнена в соответствии с заданием. Не все выводы сделаны и обоснованы	Работа выполнена в соответствии с требованиями, аккуратно, все расчёты правильные, графическая часть представлена в полном объёме. Выводы обоснованы
<b>Представление</b>	Работа не представлена	Представленные расчёты и чертежи не последовательны и не систематизированы	Представленные расчёты выполнены последовательно, систематизированы. Графическая часть выполнена с помощью графических редакторов с небольшими недочётами	Работа представлена в виде отчета со всеми пояснениями и чертежами. Все расчёты выполнены с помощью компьютерных программ)

<b>Оформление</b>	Работа не оформлена	Оформление ручное, частичное использование информационных технологий (Word, ACAD)	Оформление с помощью компьютерных технологий, но небрежное	Широко использованы технологии (WORD, Mathcad, Simulink,). 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 текущей аттестации

Для текущего контроля используются задания для экспресс-контрольных работ (ЭКР):

ЭКР №1 – однофазные выпрямители напряжения;

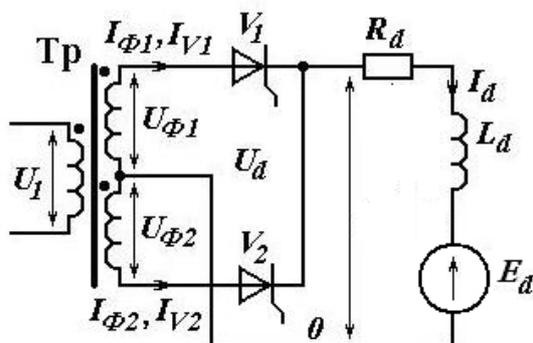
ЭКР №2 – трехфазные выпрямители напряжения;

ЭКР №3 – преобразователи постоянного напряжения;

ЭКР №4 – инверторы напряжения;

### Примеры задач для текущего контроля

#### Задача 1-1



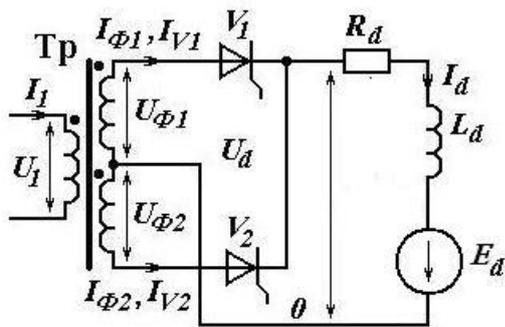
Преобразователь со схемой соединения рис. 1-1, питает нагрузку, состоящую из резистора с сопротивлением  $R_d$ , реактора с индуктивностью  $L_d$  и противо-ЭДС  $E_d$ . Каково должно быть значение индуктивности  $L_d$  для обеспечения режима непрерывного тока?

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

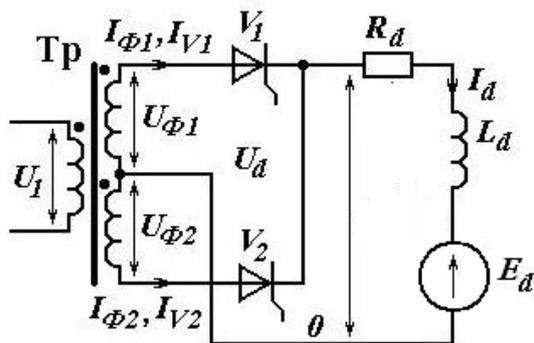


Построить кривые и определить значения выпрямленного напряжения  $U_d$ , выпрямленного тока  $I_d$  и действующих значений токов сетевой и вентильной обмоток преобразовательного трансформатора в схеме, показанной на рис. 1-2. Трансформатор и вентили идеальные,

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



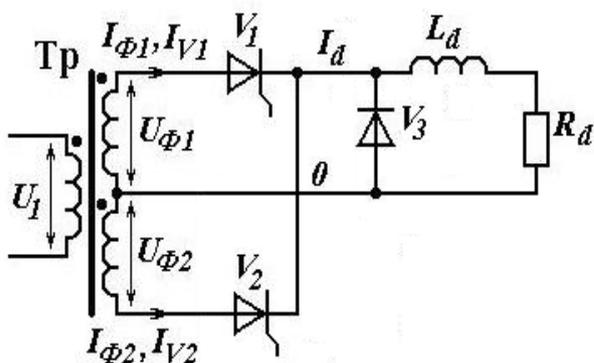
Резистор с сопротивлением  $R_d = 0.2$  Ом и сглаживающий реактор с индуктивностью  $L_d = \infty$ , присоединены к цепи постоянного тока преобразователя со схемой соединения рис. 1-3, работающего в инверторном режиме.

Рис. 1-2 Двухфазная нулевая схема выпрямления

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  $\gamma$ . Построить кривые тока в одном тиристоре и напряжения на его выводах для вычисленного угла управления и коммутации.

### Задача 1-4

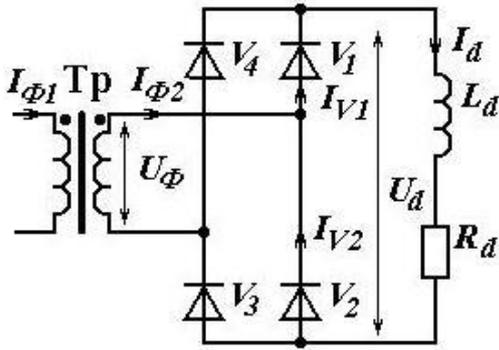


Управляемый выпрямитель со схемой соединений рис. 1-4 и шунтирующим диодом работает на нагрузку, состоящую из последовательно соединенных реактора с индуктивностью  $L_d = \infty$  и резистора с сопротивлением  $R_d = 20$  Ом. Действующее значение напряжения вентильной обмотки идеального трансформатора  $U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = 110$  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

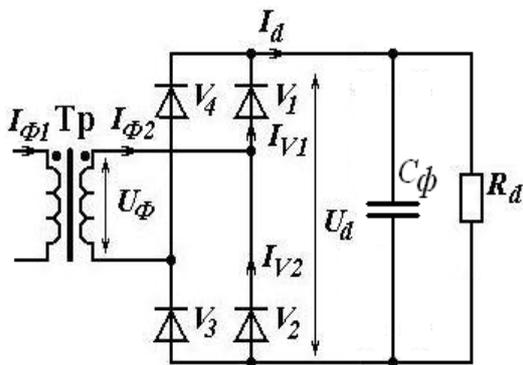
### Задача 1-5



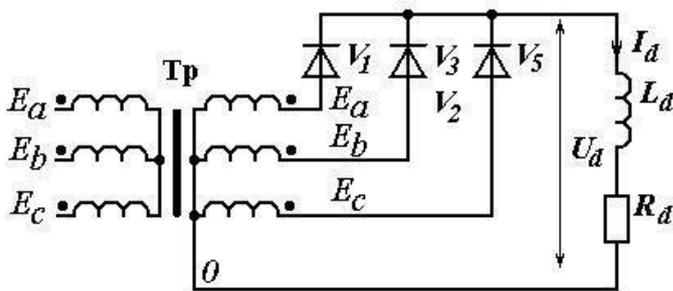
Построить кривые выпрямленного напряжения  $U_d$  и тока нагрузки  $I_d$  для однофазной мостовой схемы, показанной на рис. 1-5, а также кривую тока  $I_{\Phi 2}$  вентильной обмотки трансформатора. Определить среднее значения тока нагрузки  $I_d$  и тока диода  $I_{V,CP}$ , действующее значения тока диода  $I_{V,ЭФ}$  и тока  $I_{\Phi 1}$ , а также угол коммутации  $\gamma$  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  $I_{\Phi 1}$ , при условии:  $U_{\Phi} = U_{\Phi 1} = U_{\Phi 2} = 220$  В,  $R_d = 20$  Ом,  $f = 50$  Гц,  $C_{\Phi} = 0.01$  Ф,  $R_{\Phi} = 0.2$  Ом.

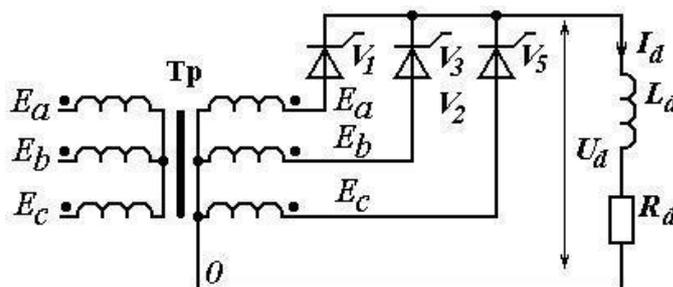


### Задание 1-7

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  $R_d$ .



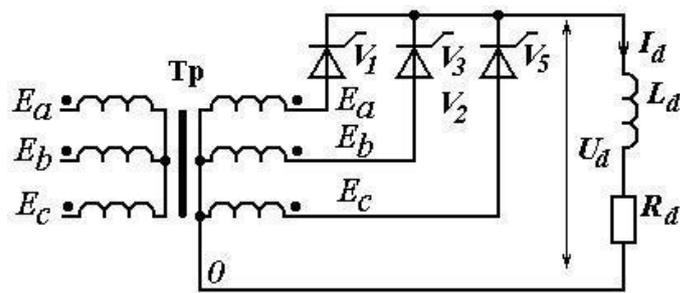
### Задание 1-8

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 значения 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.

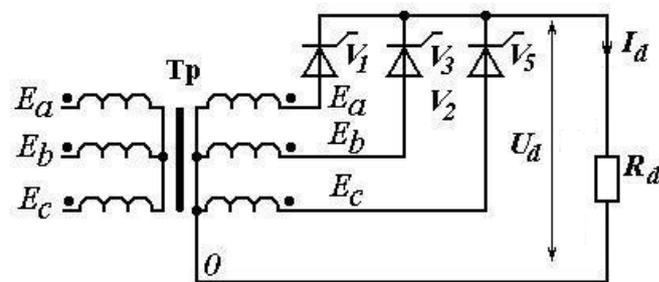


Рассчитать угол коммутации  $\gamma$ , среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее значение тока тиристора  $I_{V1}$ . Тиристоры и трансформатор идеальны. Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации.

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

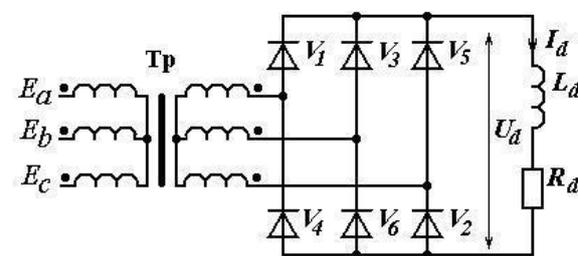


Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее значение тока тиристора  $I_{V1}$  действующее значение тока первичной обмотки трансформатора. Тиристоры и трансформатор идеальны.

Трансформатор обладает единичным коэффициентом трансформации.

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

### Задание 1-11

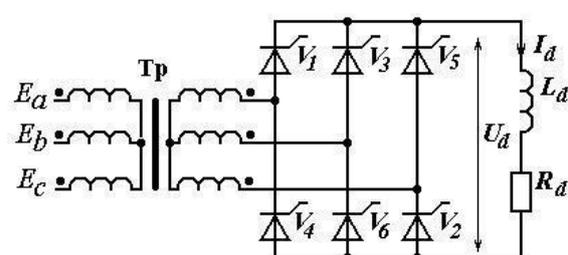


Определить коэффициент пульсаций напряжения  $U_d$ . Рассчитать величину индуктивности  $L_d$ , обеспечивающую коэффициент пульсаций  $q_H$  напряжения на нагрузке  $R_d$ .

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



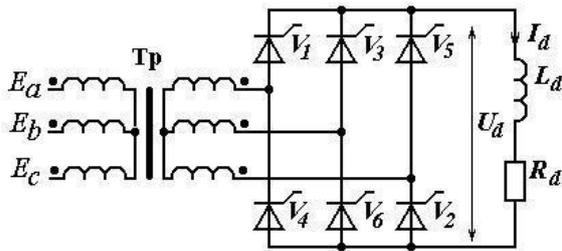
Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее и действующее значение тока тиристора  $I_{V1}$  и действующее значение тока первичной обмотки трансформатора.

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

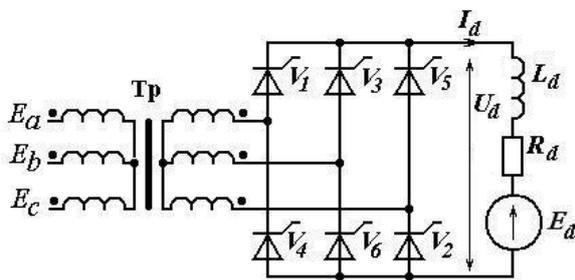


Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее и действующее значение тока тиристора  $I_{V1}$  и действующее значение тока первичной обмотки трансформатора. 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

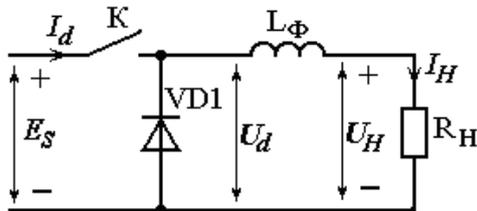


Построить диаграммы напряжения  $U_d$ , тока  $I_d$ , тока тиристора, тока первичной обмотки трансформатора. Рассчитать среднее значение напряжения  $U_d$ , среднее значение тока  $I_d$ , среднее и действующее значение тока тиристора  $I_{V1}$  и действующее значение тока первичной обмотки трансформатора. 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

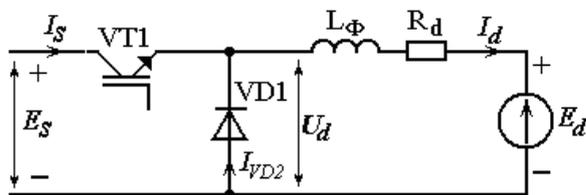


Определить напряжение  $U_d$ , амплитуду первой гармоники и коэффициент пульсаций  $q_d$  напряжения  $U_d$ , индуктивность  $L_\phi$ , обеспечивающую коэффициент пульсаций  $q_H$  на сопротивлении  $R_H$ , значения токов  $I_{d0}$ ,  $I_{dK}$ .

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

Гц.

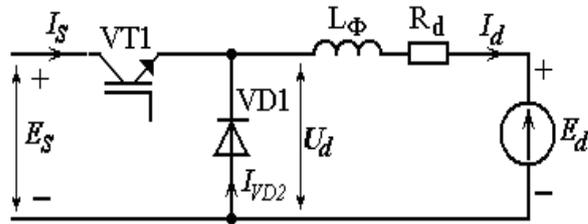
### Задание 2-2а



Найти: напряжение  $U_d$ , Э.Д.С.  $E_d$ , токи  $I_{d2p}$ ,  $I_{d0}$ ,  $I_{dK}$ .

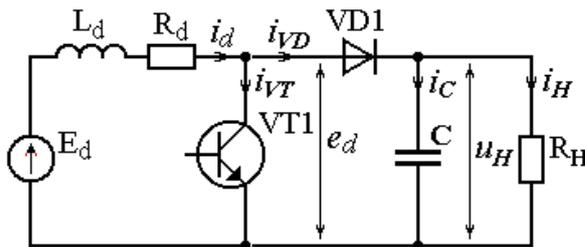
Дано:  $E_S=150$  В,  $R_d=0,5$  Ом,  $\gamma = 0.6$ ,  $L_\phi=0.01$  Гн,  $f=2000$  Гц.

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



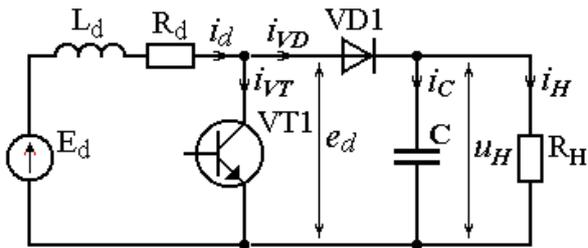
Индуктивность  $L_\Phi$  обеспечивает граничный ток. Найти: напряжение  $U_d$ , токи  $I_{dзр}$ ,  $I_{d0}$ ,  $I_{dK}$ , индуктивность  $L_\Phi$  обеспечивающую граничный ток.

**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,  $I_d=25$ ,  $U_H=250$ .

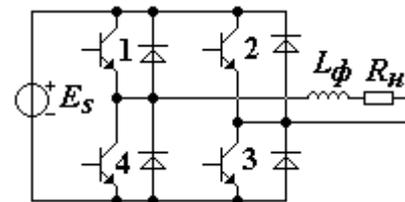


Найти: относительную длительность включения транзистора  $\gamma$ , ток нагрузки  $I_H$ , сопротивление нагрузки  $R_H$ .

**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:

1. Построить временные диаграммы напряжения и тока при активно-индуктивной нагрузке.
2. Показать примерные интервалы работы диодов.

Рис.1



3. Вычислить первые гармоники напряжения и тока нагрузки.

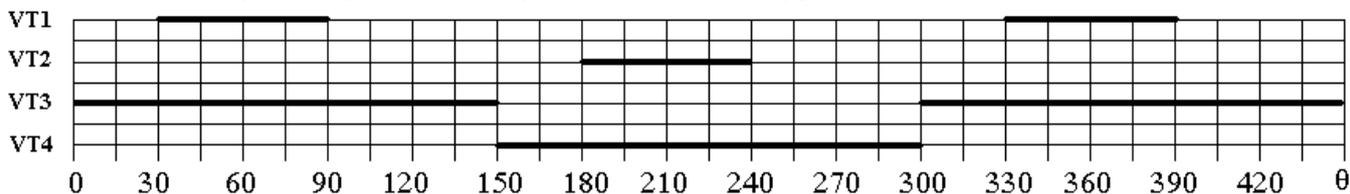


Рис.2

**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:

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

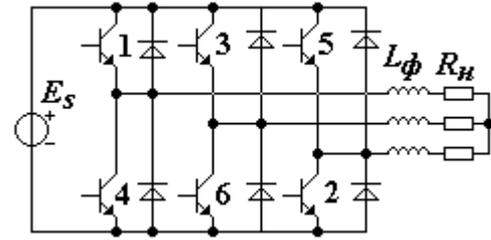


Рис.1

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:

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

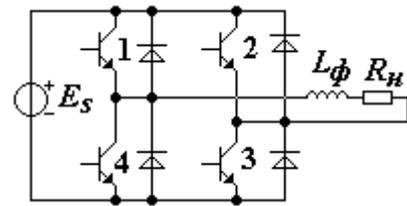


Рис.1

3. Вычислить первые гармоники фазных напряжения и тока нагрузки

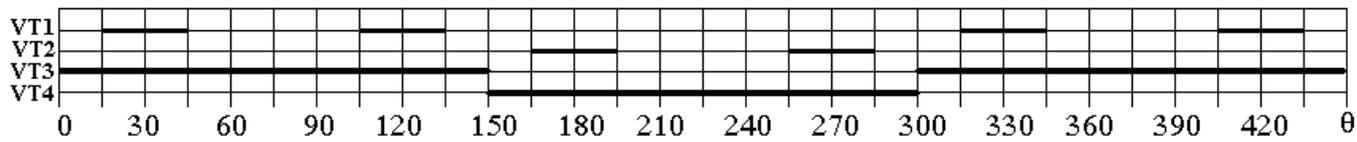


Рис. 2

**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

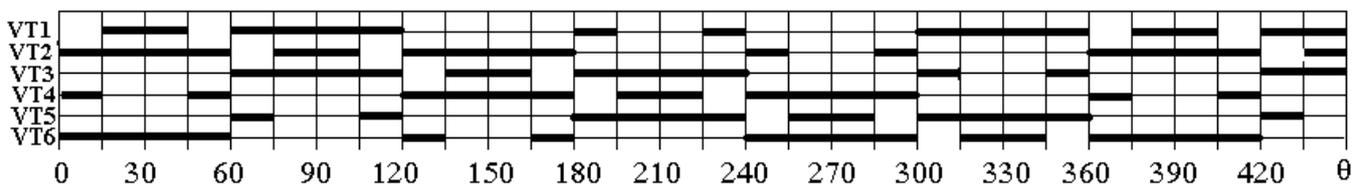
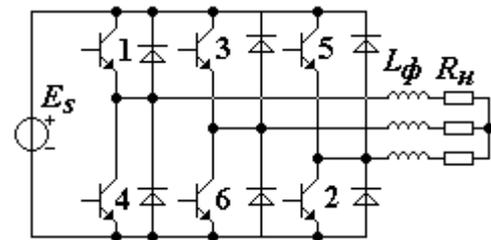
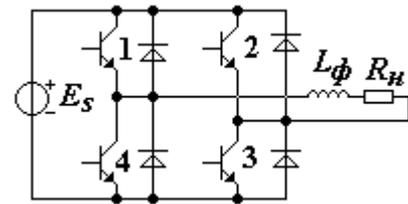


Рис. 2

**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:



1. Построить временные диаграммы напряжения и тока при активно-индуктивной нагрузке.
2. Показать примерные интервалы работы диодов.

Рис.1

3. Вычислить первые гармоники напряжения и тока нагрузки.

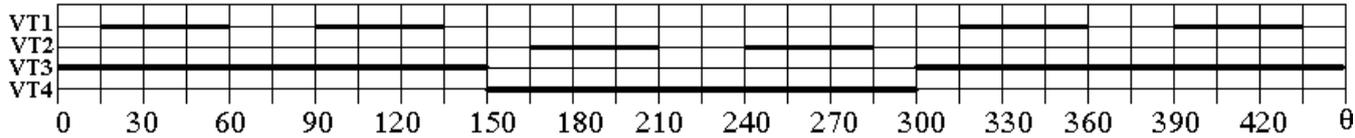
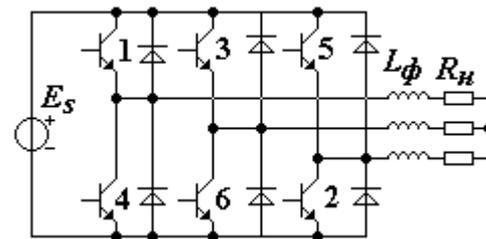


Рис. 2

**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:



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

Рис.1

3. Вычислить первые гармоники фазных напряжения и тока нагрузки.

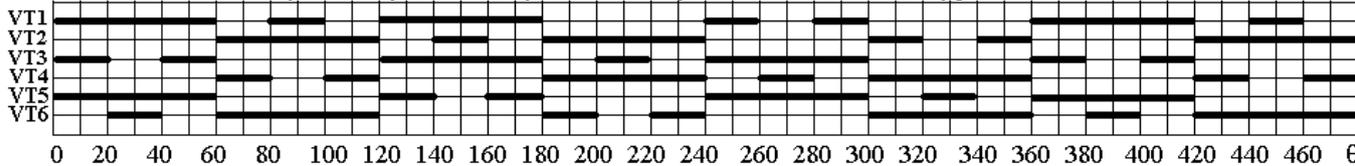
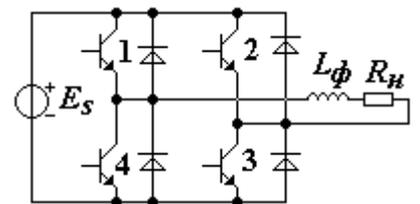


Рис. 2

**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 управление 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.

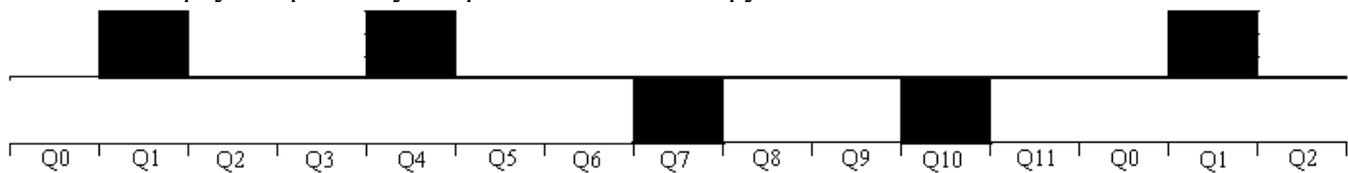


Рис.2

**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.

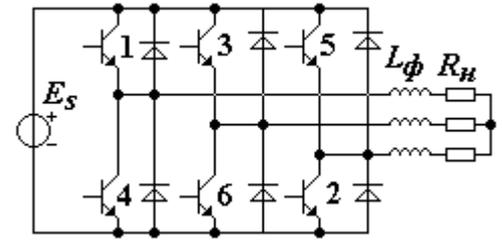


Рис.1

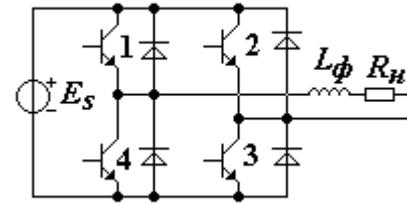


Рис.2

**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:

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

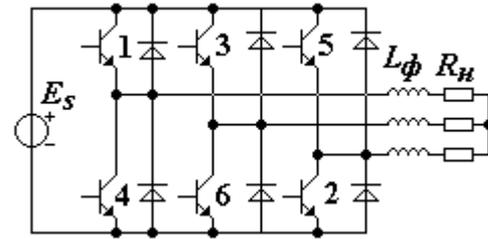


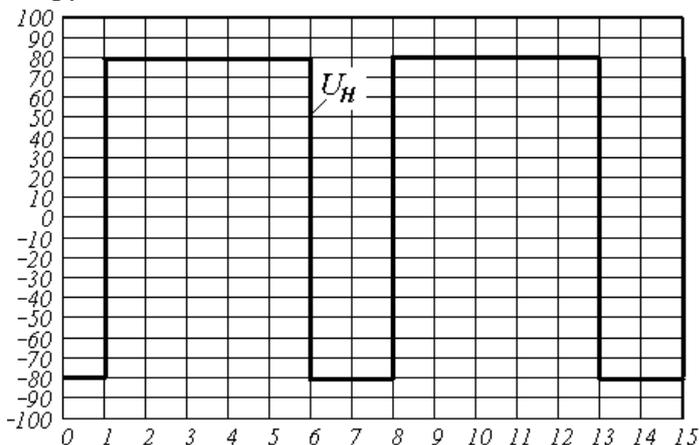
Рис 1



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 решения задач

✓ 10-9 баллов выставляется студенту, если студент выполнил все пункты ЭКР. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет.

✓ 8-7 - баллов выставляется студенту, если студент выполнил не менее 80% пунктов ЭКР. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет.

✓ 7-6 баллов выставляется студенту, если студент выполнил не менее 60% пунктов ЭКР. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

✓ 6-5 баллов выставляется студенту, если студент выполнил менее 60% пунктов ЭКР. При защите студент не отвечает на 2-3 вопроса преподавателя.