



## ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЭЛТИ

\_\_\_\_\_ Суржиков А.П.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2009 г.

### **СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Рабочая программа для направления «140200 - Электроэнергетика» по специальности «140205 – Электроэнергетические системы и сети»

Профиль Электроснабжение промышленных предприятий

Электротехнический институт (ЭЛТИ)

Обеспечивающая кафедра - Электроснабжение промышленных предприятий (ЭСПП)

Курс 5

Семестр 9

Учебный план набора 2005 года

#### Распределение учебного времени

Лекции	54 часа (ауд.)
Лабораторные занятия	18 часов (ауд.)
Практические занятия	18 часов (ауд.)
<b>Всего аудиторных занятий</b>	<b>90 часов</b>
Самостоятельная (внеаудиторная) работа	108 часов
<b>Кредитная стоимость</b>	<b>6 кредитов</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>198 часов</b>

Экзамен в 9 семестре

Томск - 2009



## ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Рабочая программа составлена на основе ОС ТПУ по специальности 100200 - Электроэнергетические системы и сети, утвержденного в 2000 г.

---

РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей кафедры ЭСПП  
\_\_\_\_\_ 2009 г., протокол № \_\_\_\_\_

2. Разработчики

профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий

Б.В. Лукутин

доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий

И.О. Муравлев

доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий

С.Г. Обухов

3. Зав. обеспечивающей

кафедрой электроснабжения

промышленных предприятий

Б.В. Лукутин

4. Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с выпускающей кафедрой «Электроэнергетические системы и сети», СООТВЕТСТВУЕТ действующему плану.

Зав. выпускающей

кафедрой электрических

систем и сетей

В.Я. Ушаков

Председатель методической комиссии ЭЛТИ

В.И. Готман



## АННОТАЦИЯ

### СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

140205 (с)

Каф. ЭСПП ЭЛТИ

Профессор, д.т.н., Лукутин Борис Владимирович

Доцент, к.т.н. Муравлев Игорь Олегович

Доцент, к.т.н. Обухов Сергей Геннадьевич

тел. 8 (3822) 564210, e-mail: [iom@elti.tpu.ru](mailto:iom@elti.tpu.ru)

**Цель:** формирование у обучающихся знаний и умений в области проектирования и эксплуатации силовых полупроводниковых преобразователей электроэнергии на промышленных предприятиях.

**Содержание:** изучение принципа действия наиболее распространенных преобразователей электрической энергии: неуправляемых и управляемых выпрямителей при различных видах нагрузки, ведомых сетью и автономных инверторов; регулируемых преобразователей постоянного и переменного напряжения для электроприводов и электротехнологических установок; методики расчета и выбора силовых полупроводниковых приборов, трансформаторов и других элементов основных типов преобразователей электрической энергии; особенности электромагнитных процессов и энергетические характеристики основных типов силовых преобразователей электрической энергии, степень их влияния на качество напряжения в системе электроснабжения;

Курс 5 (9 сем. – экзамен)

Всего 198 ч, в т.ч. Лк.- 54 ч, Лб.- 18 ч., Пр – 18 ч.



## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели преподавания дисциплины

Дисциплина «Силовые преобразователи в электроэнергетике» посвящена изучению вопросов, относящихся к проектированию и эксплуатации силовых преобразователей электроэнергии. Программой курса предусматривается рассмотрение и изучение характеристик наиболее распространенных силовых полупроводниковых приборов и основные типы силовых преобразовательных устройств в сетях переменного тока; коммутирующие и регулирующие устройства, выпрямители, сглаживающие фильтры, статические преобразователи частоты. Рассматриваются физические процессы преобразования электроэнергии, изучаются типовые схемы преобразовательных устройств и основные методы их расчета.

Изучение курса базируется на знаниях, полученных студентами по общеобразовательным дисциплинам, а также по предметам «Теоретические основы электротехники», «Материаловедение (электротехническое)», «Электромеханика», «Информационно-измерительная техника и электроника», «Электроэнергетические системы и сети».

**Целью изучения дисциплины** является формирование знаний студентов 5 курса специальности «Электроэнергетические системы и сети» по основам теории, особенностям электромагнитных процессов и характеристик основных типов преобразователей электроэнергии, получение теоретических знаний и практических навыков в расчетной, эксплуатационной и исследовательской деятельности, связанных с использованием силовых полупроводниковых преобразователей электроэнергии на промышленных предприятиях.

Студент, изучивший курс «Силовые преобразователи в электроэнергетике», должен **иметь представление:**

- о связи курса с другими дисциплинами;
- о роли курса в практической деятельности специалиста;
- о назначении и основных областях применения силовых преобразователей электроэнергии;

**знать:**

- принцип действия наиболее распространенных преобразователей электрической энергии: неуправляемых и управляемых выпрямителей при различных видах нагрузки, ведомых сетью и автономных инверторов; регулируемых преобразователей постоянного и переменного напряжения для электроприводов и электротехнологических установок;
- особенности электромагнитных процессов и энергетические характеристики основных типов силовых преобразователей электрической энергии, степень их влияния на качество напряжения в системе электроснабжения;
- методики расчета и выбора силовых полупроводниковых приборов, трансформаторов и других элементов основных типов преобразователей электрической энергии;

**уметь:**

- осуществлять эксплуатацию основных типов преобразователей электрической энергии;
- оценить энергетические характеристики вентильного преобразователя в системе электроснабжения; выполнить его системное описание;
- провести расчеты силовых элементов основных типов преобразователей, их испытания и применением современных средств вычислительной и измерительной техники.

**иметь опыт:**

- работы со специализированной справочной литературой и нормативно-техническими материалами;
- выбора и расчета рабочих режимов силовых полупроводниковых приборов.



## 1.2. Задачи изложения и изучения дисциплины

Для достижения целей, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств:

- лекции;
- лабораторные работы с индивидуальными заданиями и защитой выполненных исследований;
- практические занятия с опросом студентов и закреплением теоретического материала;
- индивидуальные расчетные задания, которые позволяют приобрести практические знания и навыки решения инженерной задачи и работы с технической и справочной литературой;
- индивидуальные и групповые консультации по теоретическим и практическим вопросам курса.

На практических занятиях формируются и закрепляются навыки проектирования различных устройств на основе силовых полупроводниковых приборов.

Расчетные задания строго индивидуальны, предусматривают решение ряда инженерных задач по расчету рабочих режимов и выбору основных элементов для тиристорного пускателя, неуправляемого выпрямителя и сглаживающего фильтра.

Проверка приобретенных знаний, навыков и умений осуществляется посредством опроса студентов, при защите лабораторных работ, индивидуальных заданий, текущих тестовых испытаний и сдачи экзамена

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ (лекции 54 часа)

### 2.1. Введение (2 часа)

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

### 2.2. Режимы работы силовых полупроводниковых приборов (8 часов).

Характеристики и параметры силовых полупроводниковых приборов (СПП): диодов, тиристоров. Основы теплового расчета СПП. Групповое соединение полупроводниковых приборов (2 часа).

Способы формирования управляющих сигналов для тиристоров. Способы фазового регулирования тиристорных устройств (4 часа).

Естественная и искусственная коммутация тиристоров, основные схемы искусственной коммутации (2 часа).

### 2.3. Выпрямители (24 часа)

Классификация, принцип действия выпрямителя, работающего на нагрузку различного характера (2 часа).

Силовые выпрямители с нулевой точкой. Физические процессы работы выпрямителя на нагрузку активно-индуктивного характера с питанием от сети соизмеримой мощности (4 часов).

Трехфазный управляемый мостовой преобразователь. Энергетические характеристики. Гармонические составляющие кривых токов и напряжений питающей сети. Качество напряжения, питающего выпрямитель (8 часов).

Специальные схемы выпрямителей с уменьшенными пульсациями выпрямленного напряжения и улучшенным коэффициентом мощности. Компенсированные выпрямители (4 часа).

Инверторный режим управляемого выпрямителя, внешние характеристики (4 часа).

Области применения выпрямителей в системах электроснабжения предприятий (2 часа).

### 2.4. Тиристорные регулирующие и коммутирующие устройства (8 часов)

Основные схемы тиристорных коммутаторов. Характеристики быстродействия и облас-



ти применения коммутаторов (2 часа).

Способы построения тиристорных усилителей: широтно-импульсная модуляция и фазовое регулирование. Характеристики основных типов усилителей (2 часа).

Фазорегулируемый усилитель с активной нагрузкой. Физические процессы, энергетические характеристики, гармонический состав токов и напряжений. Влияние фазорегулируемого тиристорного преобразователя на питающую сеть (4 часа).

### 2.5. Преобразователи частоты (10 часов)

Преобразователи частоты с непосредственной связью и естественной коммутацией. Основные характеристики (2 часа).

Особенности преобразователей частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией вентилей (2 часа).

Выпрямительно-инверторные преобразователи частоты. Автономные инверторы тока и напряжения. Однофазные и трехфазные инверторы. Гармонический состав выходного напряжения автономного инвертора (4 часа).

Частотно-регулируемый электропривод (2 часа).

### 2.6. Заключение (2 часа).

Перспективы применения силовых преобразователей в электроэнергетике.

## 3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Тематика практических занятий (18 часов)

Наименование темы	Количество часов	
	ауд.	сам.
Расчет рабочего режима силового полупроводникового прибора (СПП)	2	1
Расчет элементов цепи управления тиристора	2	1
Построение силовой схемы и системы фазового управления выпрямителей	2	1
Расчет рабочих режимов выпрямителя	2	1
Выбор вентилей и проверка их теплового режима	4	2
Энергетические характеристики выпрямителя	4	1
Расчет искажений напряжений питающей сети	2	1

### 3.2. Тематика лабораторных занятий (18 часов)

Наименование работы	Количество часов	
	ауд.	сам.
Исследование неуправляемых выпрямителей	4	2
Исследование управляемых выпрямителей в режимах выпрямления и инвертирования	6	3
Исследование тиристорного преобразователя	4	2
Исследование схем сглаживающих фильтров	4	2

По выполнении лабораторных работ каждый студент оформляет отчет, в котором указываются цели работы, ход работы, дается чертеж схемы и описание установки, экспериментальные данные, пример расчета и расчетные данные с выполнением необходимых графических зависимостей и выводы.



### 3.3. Тематика индивидуальных заданий (65 часов с/р)

Индивидуальные задания по основным разделам курса предусматривают выполнение трех работ, объемом по 30 и 35 часов, всего 65 часов самостоятельной работы.

Приобретение практических навыков в расчете силовых полупроводниковых устройств достигается выполнением индивидуального задания №1 «Тиристорный пускатель».

В задании требуется рассчитать элементы схемы тиристорного пускателя. Нагрузка пускателя асинхронный двигатель мощностью  $P$ , работающий в повторно-кратковременном режиме с частотой включений в час  $F$ .

В ходе выполнения задания требуется:

- выбрать силовые тиристоры и рассчитать их тепловой режим в заданных условиях эксплуатации;
- определить максимальный ток, который могут выдержать тиристоры в пусковом режиме;
- рассчитать цепь управления тиристорами и выбрать элементы этой цепи;
- определить параметры эквивалентной схемы замещения тиристора;
- построить вольт-амперную характеристику тиристора и указать на ней рабочие зоны для заданного режима нагрузки.

Индивидуальное задание №2 «Расчет характеристик трехфазного мостового выпрямителя». Это задание позволяет закрепить теоретический материал в ходе расчета режима работы и характеристик управляемого выпрямителя.

В процессе выполнения задания требуется:

- определить параметры номинального режима: угол коммутации, величину выпрямленного напряжения, тока, фазного тока выпрямителя;
- определить энергетические характеристики выпрямителя: коэффициенты преобразования схемы по току, напряжению, мощности, эквивалентный коэффициент мощности выпрямителя;
- построить временные диаграммы работы выпрямителя, определить величину пульсаций выпрямленного напряжения;
- рассчитать и построить внешнюю характеристику выпрямителя для нормального режима работы.

В помощь студентам для выполнения индивидуальных заданий разработаны методические указания, в которых приводятся краткие теоретические сведения по изучаемой проблеме, даются варианты заданий и методические указания к их выполнению. Образец методических указаний приведен в приложении.

## 4. ПРОГРАММА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Программа самостоятельной работы студента включает проработку лекционного материала в объеме 25 часов, подготовку к практическим занятиям и самостоятельного выполнения индивидуальных заданий предусмотрено 65 часов внеаудиторных занятий. Подготовка отчетов по лабораторным работам по дисциплине предусматривается в объеме 18 часов.

## 5. ТЕКУЩИЙ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Целью текущего контроля является проверка усвоения блоков учебной дисциплины в течение семестра, стимулирование студентов к равномерной самостоятельной работе в семестре.



Текущий контроль осуществляется путем проведения контрольных точек после изучения каждого блока теоретического материала. Банк контрольных материалов содержит вопросы для контрольных точек, проводимых после изучения соответствующих блоков материалов:

1 блок: Характеристики и режимы работы силовых полупроводниковых приборов.

2 блок: Выпрямители.

3 блок: Преобразователи частоты и сглаживающие фильтры.

Материалы для контрольных точек содержат теоретические вопросы, схемотехнические задачи на понимание физических процессов в силовых полупроводниковых преобразователях, а также простые расчетные задания режимов работы преобразователей. Варианты билетов для текущего контроля и контролирующие материалы по дисциплине приводятся в приложении.

Общий принцип составления индивидуальных контрольных заданий состоит в стремлении проверить усвоение основных принципов построения силовых преобразователей, электромагнитных процессов в системах электроснабжения с вентильными элементами, основных методов анализа с вентильными преобразователями, характеристик важнейших типов преобразователей электроэнергии.

Кроме контрольных точек, текущий контроль осуществляется при защите отчетов по лабораторным работам, выполнении индивидуальных заданий.

Для стимулирования равномерности работы студентов в течение семестра используется рейтинговая система. По дисциплине составлен рейтинг-план, в соответствии с которым результаты текущей аттестации подаются в учебную часть ЭЛТИ.

Итоговый контроль предусматривается в виде экзамена по дисциплине. Образец экзаменационного билета прилагается.





## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины используются компьютерные программы, наглядные пособия в виде препарированных образцов силовых полупроводниковых приборов, систем охлаждения к ним. Лабораторные работы выполняются в специализированной лаборатории ЭЛТИ, оснащенной современными стендами, контрольными и измерительными приборами.

### Перечень рекомендуемой литературы

#### *Основная:*

1. Руденко В.И. и др. Основы преобразовательной техники. Учебник для ВУЗов, 2-е издание М.: Высш. шк., 1980 – 286 с.
2. Чебовский О.Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы. (справочник). М., «Энергия», 1975. – 513 с.
3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Силовые преобразователи в электроснабжении. Учебное пособие. – Томск, Изд. ТПУ, 2006.
4. Лукутин Б.В. Расчет режимов работы выпрямителя. Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Силовые преобразователи в электроснабжении. – Томск, Изд. ТПУ, 2006.
5. Семченко П.Т. Преобразовательная техника. Учебное пособие. – Тюмень, Изд-во Тюменского ГНГУ, 2004. – 120 с.

#### *Дополнительная:*

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

#### *Методическая:*

1. Шутов Е.А. Компьютерное моделирование силовых преобразователей: Методические указания к выполнению лабораторного практикума для студентов специальности 100.400 «Электроснабжение промышленных предприятий». – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.-64 с.
2. Обухов С.Г. Силовые преобразователи в электроснабжении. Методические указания к выполнению лаб. работ. Томск, изд. ТПУ, 2004. – 32 с.
3. Лукутин Б.В., Даценко В.А. Силовые преобразователи электроэнергии. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий. Томск, изд. ТПУ, 2001 – 40 с.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



---

**Экзаменационный билет № 4**  
по дисциплине  
**«Силовые преобразователи в электроэнергетике»**  
**ТПУ, ЭЛТИ, курс 5**

---

1. Порядок расчета теплового режима СПП в статических и динамических режимах.
2. Построить временные диаграммы напряжения на нагрузке симметричной тиристорной биполярной ячейки. Трехфазная схема без нулевого провода,  $\alpha = 140^\circ$ .
3. Инверторный режим управляемого выпрямителя и его практическое использование.
4. Какие преимущества дает применение искусственной коммутации в непосредственных СПЧ?

Составил: доцент кафедры ЭСПП \_\_\_\_\_ И.О.Муравлев

Утверждаю: зав.кафедрой ЭСПП \_\_\_\_\_ Б.В.Лукутин

Согласовано: директор ЭЛТИ \_\_\_\_\_ А.П.Суржиков



## КОНТРОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

по курсу «*Силовые преобразователи в электроэнергетике*»

### Теоретические вопросы

#### Характеристики силовых полупроводниковых приборов

1. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода. Принцип и смысл линеаризации ВАХ
2. Схема замещения полупроводникового вентиля. Порядок параметров в схеме замещения.
3. Когда используется групповое соединение вентилялей. Способы выравнивания токов и напряжений при групповом соединении.
4. Изобразить и объяснить вольт-амперную характеристику тиристора.
5. Тепловые параметры силовых полупроводниковых приборов в статических и динамических режимах, как они определяются.
6. Система параметров силовых полупроводниковых приборов. Предельно допустимые и характеризующие параметры.
7. Условия запираания и отпираания тиристорov. Понятие естественной и искусственной коммутации.
8. По каким параметрам выбирается вентиль. Как рассчитывается режим его работы.
9. Диаграмма управления тиристора. Зависимость длительности управляющего сигнала от его амплитуды.
10. Способы формирования управляющих сигналов для тиристорov, их достоинства и недостатки.
11. Остаточные параметры тиристорного ключа, их порядок.

#### Тиристорные коммутаторы и регуляторы в цепях переменного тока

12. Достоинства и недостатки тиристорных коммутаторov. Классификация тиристорных коммутаторov.
13. Основные принципы построения и режимы работы тиристорных усилителей.
14. Основные способы фазового регулирования углов включения тиристорov.
15. Гармонический состав токов и напряжений тиристорного регулятора с фазовым регулированием, от чего он зависит.
16. Влияние характера нагрузки на форму тока в фазорегулируемом тиристорном усилителе.
17. Какими факторами определяется быстродействие тиристорного коммутатора с естественной и искусственной коммутацией вентилялей.

#### Выпрямители

18. Назначение, основные элементы, классификация, эксплуатационные характеристики выпрямителей
19. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя
20. Особенности работы выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку. Временные диаграммы токов и напряжений однофазного однополупериодного выпрямителя, работающего на активно-индуктивную нагрузку
21. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя
22. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного мостового неуправляемого выпрямителя
23. Коммутационные процессы в выпрямителе. Величина угла коммутации
24. Понятие о коэффициентах преобразования выпрямителя по току и напряжению и коэффициенте использования мощности трансформатора. От чего они зависят.
25. Схема, достоинства и недостатки трехфазного нулевого неуправляемого выпрямителя
26. Схема, достоинства и недостатки трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя



27. Схема, временные диаграммы токов и напряжений однофазного нулевого управляемого выпрямителя
28. Внешняя и регулировочная характеристики выпрямителей, их вид, от чего зависят.
29. Назначение и схема включения шунтирующего диода в однофазном нулевом управляемом выпрямителе.
30. Как влияют угол коммутации и угол управления тиристорами на использование мощности питающего трансформатора
31. Как влияет характер нагрузки на форму выпрямленного и фазных токов трансформатора
32. Какие общепринятые допущения принимают при анализе электромагнитных процессов в выпрямителе и почему
33. Структурная схема и временные диаграммы системы вертикального управления управляющего сигнала для тиристора

### **Сглаживающие фильтры**

34. Назначение и основные характеристики сглаживающих фильтров. Коэффициенты сглаживания и фильтрации. Классификация фильтров.
35. Схема, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки емкостных фильтров.
36. Схема, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки индуктивных фильтров.
37. Принципы построения, достоинства и недостатки сложных многозвенных и резонансных фильтров.
38. Основные схемы построения, принцип действия, области применения, достоинства и недостатки электронных фильтров.

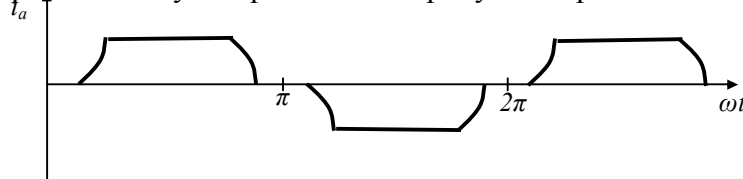
### **Преобразователи частоты**

39. Назначение, классификация статических преобразователей частоты. Достоинства и недостатки различных вариантов СПЧ.
40. Приведите пример схемного выполнения непосредственного преобразователя с естественной коммутацией вентилей. Объясните принцип его работы.
41. Приведите пример схемного выполнения непосредственного преобразователя с искусственной коммутацией вентилей. Объясните принцип его работы.
42. Структурная схема выпрямительно-инверторных преобразователей частоты, их достоинства и недостатки.
43. Принципиальная электрическая схема, принцип работы, временные диаграммы инвертора напряжения.
44. Принципиальная электрическая схема, принцип работы, временные диаграммы инвертора тока.
45. Схема трехфазного автономного инвертора. Принцип формирования кривой выходного напряжения.
46. Основные способы повышения качества выходного напряжения автономных инверторов
47. Векторный способ синтеза синусоиды выходного напряжения автономных инверторов
48. Широтно-импульсная модуляция прямоугольного напряжения (одно- и двухполярная модуляция)
49. Основные способы регулирования величины вых. напряжения автономных инверторов
50. Регулирование выходного напряжения инвертора с помощью геометрического суммирования напряжений

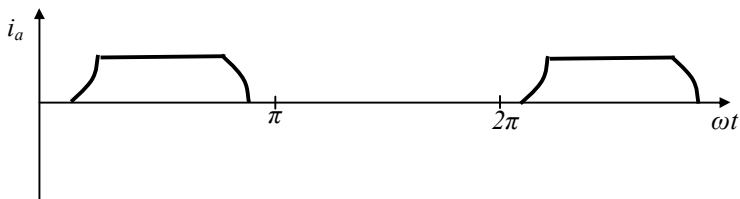


**Практические вопросы**

Изобразить схему выпрямителя и кривую выпрямленного напряжения



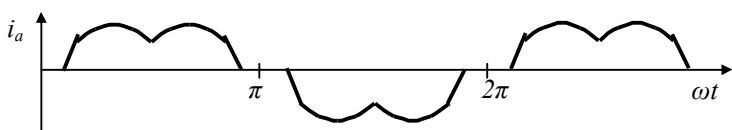
Изобразить схему выпрямителя и кривую выпрямленного напряжения



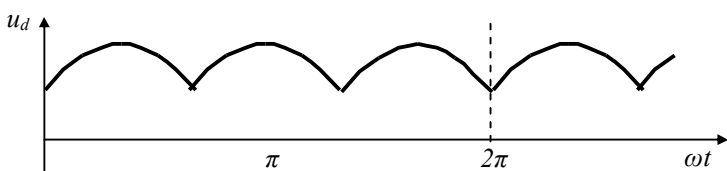
Изобразить схему выпрямителя и кривую выпрямленного напряжения



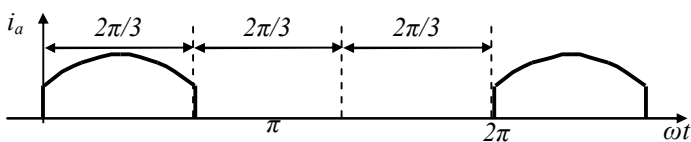
Изобразить схему выпрямителя и кривую выпрямленного напряжения



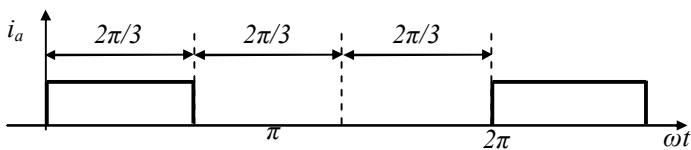
Изобразить схему выпрямителя и кривую фазного тока



Изобразить схему выпрямителя и кривую выпрямленного напряжения



Изобразить схему выпрямителя и кривую выпрямленного напряжения



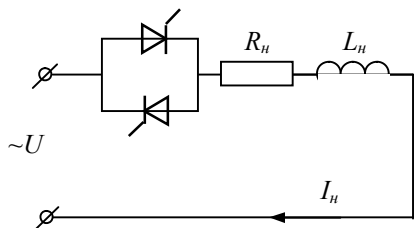


1. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового управляемого выпрямителя для режима  $\alpha = 30^\circ, \gamma = 30^\circ, L_a \neq 0, r_a = 0, L_d = \infty$
2. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового управляемого выпрямителя для режима  $\alpha = 60^\circ, \gamma = 30^\circ, L_a \neq 0, r_a = 0, L_d = \infty$
3. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового управляемого выпрямителя для режима  $\alpha = 30^\circ, L_a, r_a = 0, L_d = \infty$
4. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового управляемого выпрямителя для режима  $\alpha = 30^\circ, \gamma = 30^\circ, L_a \neq 0, r_a, L_d = 0$ .
5. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного нулевого неуправляемого выпрямителя для режима  $\gamma = 30^\circ, L_a \neq 0, r_a = 0, L_d = 0$ .
6. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного нулевого неуправляемого выпрямителя для режима  $\gamma = 30^\circ, r_a = 0, L_d = \infty$
7. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного нулевого неуправляемого выпрямителя для режима  $L_a = 0, r_a = 0, L_d = \infty$
8. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя для режима  $\gamma = 30^\circ, r_a = 0, L_d = \infty$
9. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений однофазного нулевого неуправляемого выпрямителя для режима  $L_a = 0, r_a = 0, L_d = 0$
10. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового автономного инвертора с включением нагрузки в звезду при угле проводимости вентилей  $\lambda = 120^\circ$
11. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового автономного инвертора с включением нагрузки в звезду при угле проводимости вентилей  $\lambda = 180^\circ$
12. Изобразите временные диаграммы токов и напряжений трехфазного мостового автономного инвертора с включением нагрузки в звезду при угле проводимости вентилей  $\lambda = 90^\circ$
13. Изобразить схему трехфазного тиристорного коммутатора на основе монополярных тиристорных ячеек с включением ячеек и нагрузок в треугольник.
14. Изобразить схему трехфазного тиристорного коммутатора на основе монополярных тиристорных ячеек, включенных в треугольник. Нагрузка включается на фазные напряжения
15. Изобразить схему трехфазной нулевой схемы выпрямления
16. Изобразить схему трехфазного несимметричного мостового тиристорного коммутатора с анодной группой на основе тиристоров
17. Изобразить схему трехфазного несимметричного мостового тиристорного коммутатора с катодной группой на основе тиристоров
18. Изобразить схему однофазного симметричного мостового тиристорного коммутатора с включением регулирующего тиристора в цепь нагрузки.
19. Изобразить схему однофазного симметричного мостового тиристорного коммутатора
20. Изобразить схему трехфазного симметричного мостового тиристорного коммутатора с включением нагрузки на стороне постоянного тока
21. Изобразить схему трехфазного несимметричного мостового тиристорного коммутатора с включением нагрузок на фазные напряжения
22. Изобразить схему трехфазного симметричного мостового тиристорного коммутатора с включением нагрузок на фазные напряжения
23. Изобразить схему трехфазного тиристорного коммутатора на основе симметричных биполярных тиристорных ячеек с включением ячеек и нагрузок в треугольник
24. Изобразить схему трехфазного тиристорного коммутатора на основе несимметричных биполярных тиристорных ячеек, включенных в треугольник. Нагрузка включается на фазные напряжения



25. Изобразить схему трехфазного тиристорного коммутатора на основе симметричных биполярных тиристорных ячеек с нулевым проводом

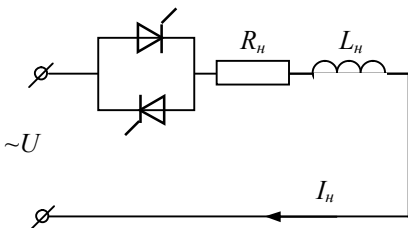
26. Для схемы, приведенной на рисунке, изобразить форму тока нагрузки и охарактеризовать ее гармонический состав. Импульс управления широкий.



$$\varphi = 45^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

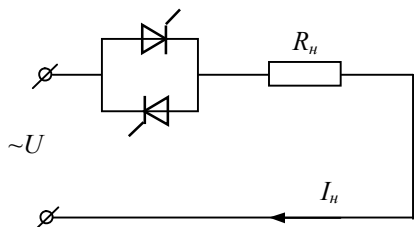
27. Для схемы, приведенной на рисунке, изобразить форму тока нагрузки и охарактеризовать ее гармонический состав. Импульс управления широкий.



$$\varphi = 30^\circ$$

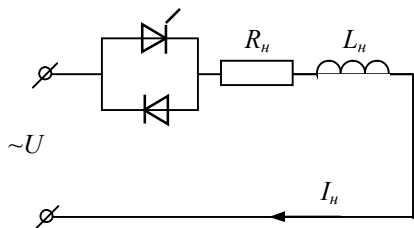
$$\alpha = 60^\circ$$

28. Для схемы, приведенной на рисунке, изобразить форму тока нагрузки и охарактеризовать ее гармонический состав.



$$\alpha = 30^\circ$$

29. Для схемы, приведенной на рисунке, изобразить форму тока нагрузки и охарактеризовать ее гармонический состав. Импульс управления широкий.



$$\varphi = 45^\circ$$

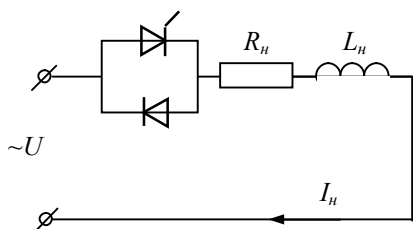
$$\alpha = 30^\circ$$



## ОБРАЗЦЫ БИЛЕТОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### БИЛЕТ № 7

1. Условия запираания и отпираания тиристоров. Понятие естественной и искусственной коммутации
2. Изобразить схему однофазного симметричного мостового тиристорного коммутатора
3. Для схемы, приведенной на рисунке, изобразить форму тока нагрузки и охарактеризовать ее гармонический состав. Импульс управления короткий.



$$\varphi = 45^\circ$$
$$\alpha = 30^\circ$$

### БИЛЕТ №2

1. Схема, временные диаграммы токов и напряжений, достоинства и недостатки однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя
2. Изобразить схему выпрямителя и кривую фазного тока

