



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Томский политехнический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЭЛТИ

_____ А.А.Суржиков

«___» _____ 2009 г.

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Рабочая программа для направления 140200 - «Электроэнергетика»

Электротехнический институт (ЭЛТИ)

Обеспечивающая кафедра - Электроснабжение промышленных предприятий
(ЭСПП)

Курс 4

Семестр 7

Учебный план набора 2004 года

Распределение учебного времени

Лекции	30 часов (ауд.)
Лабораторные занятия	8 часов (ауд.)
Практические занятия	16 часов (ауд.)
Курсовая работа 7 семестр	
Всего аудиторных занятий	54 часа
Самостоятельная (внеаудиторная) работа	88 часов
Общая трудоемкость	142 часа
Кредитная стоимость	6
Экзамен 7 семестр	

Томск 2009



ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Рабочая программа составлена на основе ОС ТПУ по направлению 140200 "Электроэнергетика" от 2001 г.

РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей кафедры Электро-снабжения промышленных предприятий ЭСПП протокол № 20 от 31.08.09 г.

2. Разработчик, профессор кафедры
электроснабжения промышленных
предприятий

Б.В.Лукутин

3. Зав. обеспечивающей
кафедрой ЭСПП

Б.В.Лукутин

4. Рабочая программа СООТВЕТСТВУЕТ действующему учебному плану.

Зав. выпускающей
кафедры электроснабжения
промышленных предприятий

Б.В.Лукутин

Председатель методической комиссии ЭЛТИ
по направлению «Электроэнергетика»

Готман В.И.

Зам.директора ЭЛТИ
по методической работе

Дудкин А.И.



АННОТАЦИЯ

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

551700 (б)

Каф. ЭСПП ЭЛТИ

Профессор, д.т.н. Лукутин Борис Владимирович

тел. (3822) 564210, e-mail: lukutin48@mail.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 4 (7 сем. – экзамен), диф. зачет

Всего 142 ч, в т. ч. Лк. – 30 ч, Лб. – 8 ч., Пр – 16 ч.



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели преподавания дисциплины

В дисциплине «Силовые преобразователи в электроснабжении» излагается материал, относящийся к вопросам эксплуатации и оптимизации режимов работы силовых преобразователей электроэнергии в системах электроснабжения предприятий. Программой курса предусмотрено изучение студентами основных типов силовых полупроводниковых преобразователей электроэнергии, их энергетических характеристик, вопросов выбора силового оборудования преобразователей и электромагнитной совместимости вентильных устройств в системе электроснабжения. 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», «Электроснабжение предприятий». Полученные знания по данной дисциплине используются при изложении ряда вопросов специальных дисциплин: «Электротехнологические промышленные установки», «Спецвопросы электроснабжения промышленных предприятий», «Энергосбережение на промышленных предприятиях», «Энергоэффективность преобразования и транспортировки электроэнергии».

Целью изучения дисциплины «Силовые преобразователи в электроснабжении» является формирование знаний по основам теории, особенностям электромагнитных процессов и характеристик основных типов преобразователей электроэнергии, получение практических навыков в расчетной, эксплуатационной и исследовательской деятельности, связанных с использованием на промышленных предприятиях.

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

- о связи курса с другими дисциплинами;
- о роли курса в практической деятельности специалиста;
- о современных методах исследования силовых преобразователей электроэнергии;

знать:

- терминологию, основные понятия и определения;
- принцип действия наиболее распространенных преобразователей электрической энергии: неуправляемых и управляемых выпрямителей при различных видах нагрузки, ведомых сетью и автономных инверторов; регулируем-



мых 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 с применением современных средств вычислительной и измерительной техники;

иметь опыт:

- работы со справочной литературой;
- анализа режимов работы вентильного преобразователя.

1.2. Задачи изложения и изучения дисциплины

Дисциплина изучается в процессе проведения лекционных, практических занятий, выполнения курса лабораторных работ, выполнения курсовой работы, самостоятельного изучения теоретических вопросов, а также самостоятельной внеаудиторной работы по подготовке индивидуальных заданий, отчетов по лабораторным работам, подготовки к контрольным точкам, итоговому экзамену по дисциплине.

На практических занятиях формируются и закрепляются навыки расчета элементов силовых полупроводниковых преобразователей электроэнергии.

Расчетные задания строго индивидуальны, предусматривают решение ряда инженерных вопросов по выбору силовых полупроводниковых приборов, по анализу режимов работы вентильных преобразователей электроэнергии и их влиянию на систему электроснабжения предприятий.

Проверка приобретенных знаний, навыков и умений осуществляется посредством опроса студентов, при защите лабораторных работ, индивидуальных заданий, текущего контроля и сдачи экзамена.



2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ *(лекции 32 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 (6 часов).

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

2.3. Выпрямители (10 часов)

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

2.4. Тиристорные регулирующие и коммутирующие устройства (6 часов)

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



2.5. Преобразователи частоты (6 часов)

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

2.8. Заключение (2 часа).

Перспективы применения силовых преобразователей в электроснабжении.

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематика практических занятий (16 часов)

1. Расчет рабочего режима силового полупроводникового прибора (СПП) - 2 часа.
2. Расчет элементов цепи управления тиристора - 2 часа.
3. Расчет рабочих режимов выпрямителя - 4 часа.
4. Выбор вентилей и проверка их теплового режима - 2 часа.
5. Энергетические характеристики выпрямителя - 2 часа.
6. Расчет искажений напряжений питающей сети - 2 часа.
7. Расчет параметров фильтра - 2 часа.

3.2. Тематика лабораторных работ (8 часов)

1. Фильтры высших гармоник – 2 часа.
2. Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель – 4 часа.
3. Преобразователи частоты – 2 часа.

При выполнении лабораторных работ каждый студент оформляет отчет, в котором указываются цели работы, ход работы, описание установки, экспериментальные данные, расчетные данные с выполнением графиков и выводы.



3.3. Тематика курсовой работы (38 часов с/р)

Курсовая работа посвящается расчету рабочих режимов трехфазного мостового выпрямителя, мощность которого соизмерима с мощностью питающего трансформатора и анализом влияния вентильной нагрузки на качество кривой питающего напряжения.

Выполнение курсовой работы предусматривает проработку следующих вопросов.

Наименование разделов курсовой работы	Трудоемкость, час.		Часов кон-сультаций
	самостоя-тельной работы	%	
1. Построение силовой схемы выпрямителя и блок-схемы системы фазового управления вентилями.	2	6	1
2. Расчет номинального рабочего режима выпрямителя.	4	12	2
3. Построение временных диаграмм работы выпрямителя.	2	6	1
4. Построение энергетических характеристик выпрямителя.	8	24	5
5. Расчет гармонического состава фазных токов выпрямителя и величины искажений сетевого напряжения	4	12	2
6. Расчет баланса мощности выпрямителя	2	6	1
7. Расчет параметров силового фильтра	6	18	2
8. Выбор силовых вентилях и проверка их тепловых режимов	4	12	1
9. Оформление курсовой работы	6	4	1
Итого	38	100	16

Образец задания к курсовой работе по дисциплине «Силовые преобразователи в электроснабжении» прилагается.



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Томский политехнический университет»

ЗАДАНИЕ

к курсовой работе «**Выпрямитель**»

по курсу «**Силовые преобразователи в электроснабжении**»

студенту ЭЛТИ гр. _____

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Схема выпрямления - трехфазная мостовая. Выпрямитель управляемый. Нагрузка активно-индуктивного характера, ток нагрузки идеально сглажен.

2. Параметры схемы в относительных единицах (о.е.):

- сопротивление нагрузки $r_n =$
- индуктивное сопротивление фазы питающего трансформатора _____;
- действующее значение фазного напряжения трансформатора - 1;
- угол управления тиристорами в номинальном режиме 0° .

3. Параметры в именованных единицах;

- действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора - 220 В;
- номинальный ток нагрузки выпрямителя

$$I_d = \quad [A].$$

4. Охлаждение воздушное, естественное, температура $+20^\circ$.

Вопросы, подлежащие проработке

1. Построение блок-схемы системы фазового управления вентилями выпрямителя.

2. Расчет номинального рабочего режима выпрямителя.

3. Построение временных диаграмм работы выпрямителя по расчетным данным режима и графическое определение величины пульсаций выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$.

4. Построение регулировочной и внешних характеристик выпрямителя для режима номинальной нагрузки.

5. Расчет энергетических характеристик выпрямителя: K_v , K_I , K_p , $\cos\alpha_2$ и определение их зависимостей от α .

6. Расчет гармонического состава и коэффициентов искажения синусоидальности фазных токов и напряжений выпрямителя при $\alpha = 0$.

7. Расчет баланса мощностей выпрямителя для $\alpha = 0$.

8. Выбор вентиля выпрямителя и проверка их теплового режима в статическом режиме и в повторно-кратковременном режиме _____ вкл./час, считая длительность включенного и выключенного состояний одинаковыми.

9. Расчет параметров силового фильтра.

Руководитель работы,
профессор кафедры ЭСПП

Б.В. Лукутин

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Томский политехнический университет»

ЗАДАНИЕ

к курсовой работе «*Силовые преобразователи в электроснабжении*»
студенту ЭЛТИ гр.9А

Исходные данные

1. Схема выпрямления - трехфазная мостовая. Выпрямитель управляемый. Нагрузка активно-индуктивного характера, ток нагрузки идеально сглажен.

2. Параметры схемы в относительных единицах (о.е.):

- сопротивление нагрузки r_n _____;
- индуктивное сопротивление фазы питающего трансформатора _____;
- действующее значение фазного напряжения трансформатора - 1;

3. Параметры в именованных единицах;

- действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора - 220 В;

Сопротивление нагрузки выпрямителя

$$R_n = \quad [\text{Ом}].$$

Вопросы, подлежащие проработке:

1. Построение блок-схемы системы фазового управления вентилями выпрямителя.
2. Расчет рабочего режима выпрямителя.
3. Построение временных диаграмм работы выпрямителя по расчетным данным режима и графическое определение величины пульсаций выпрямленного напряжения.
4. Выбор вентиля и проверка их тепловых режимов.
5. Расчет энергетических характеристик выпрямителя.
6. Построение внешней характеристики выпрямителя для двух-трехвентильного режима работы.
7. Расчет гармонического состава и коэффициентов искажения синусоидальности фазных токов и напряжений выпрямителя.
8. Расчет параметров силового фильтра.

Руководитель работы,
профессор кафедры ЭСПП

Б.В.Лукутин

3.4. Тематика индивидуальных заданий (4 часа с/р)



Тематика индивидуальных заданий связана с расчетом режимов работы силовых полупроводниковых вентилях и анализом характеристик типичных вентилях преобразователей электроэнергии в системах электропитания. Задание предусматривает приобретение практических навыков в расчете рабочих режимов силовых полупроводниковых приборов.

Вопросы индивидуальных заданий охватывают до 50 % теоретического лекционного материала и практических занятий.

Наименование разделов индивидуальных заданий	Трудоемкость, час.		Часов кон-сультаций
	самостоя-тельной работы	%	
Задание 1. Расчет режимов силовых вентилях тиристорного пускателя	4	100	1
1.1. Выбрать силовые тиристоры и рассчитать их тепловой режим в заданных условиях эксплуатации	1	24	0,5
1.2. Определить максимальный ток, который могут выдержать тиристоры в пусковом режиме	0,5	24	0,125
1.3. Рассчитать цепь управления тиристорами и выбрать элементы этой цепи.	1	24	0,25
1.4. По справочным данным построить линеаризованную вольт-амперную характеристику и показать на ней рабочие зоны для заданного режима работы	0,5	8	0,125
1.5. Оформление задания	1	20	

4. ПРОГРАММА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (96 часов)

Программа самостоятельной деятельности включает:

- подготовку к практическим занятиям – 16 часов;
- подготовку и оформление отчетов по лабораторным работам - 8 часов;
- выполнение индивидуальных заданий – 4 часа;
- выполнение курсовой работы – 60 часов;
- проработку теоретических разделов дисциплины, представленных в таблице (8 часов).

№	Наименование темы	Часы	Литература
---	-------------------	------	------------



п/п			
1.	Устройства защиты вентиляей от перенапряжений	2	[2; разд. 3]
2.	Типы силовых полупроводниковых вентиляей	2	[2; разд. 1]
3.	Конструктивное исполнение вентиляных преобразователей, схемы группового соединения	4	[2; разд. 2]

5. ТЕКУЩИЙ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Целями текущего контроля являются 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: Тиристорные коммутаторы и регуляторы-стабилизаторы тока, напряжения, мощности.

4 блок: Преобразователи частоты.

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.

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

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

Для стимулирования равномерности работы студентов в течение семестра используется рейтинговая система. Учебно-методическая карта (рейтинг-лист) прилагается.

Итоговый контроль предусматривается в виде экзамена по дисциплине и диф-



ференцированного зачета по курсовой работе. Образец экзаменационного билета прилагается.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Перечень используемых информационных продуктов.

При изучении дисциплины используются компьютерные программы, наглядные пособия в виде препарированных образцов силовых полупроводниковых приборов, систем охлаждения к ним.

6.2. Перечень рекомендуемой литературы

Основная:

1. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Силовые преобразователи в электроснабжении. Учебное пособие. – Томск, Изд. ТПУ, 2006.
2. Обухов С.Г. Силовые преобразователи в электроснабжении. Методические указания к выполнению лаб. работ. – Томск, изд. ТПУ, 2004.
3. Лукутин Б.В. Расчет режимов работы выпрямителя. Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Силовые преобразователи в электроснабжении». – Томск, Изд. ТПУ, 2006.
4. Семченко П.Т. Преобразовательная техника. Учебное пособие. – Тюмень, Изд-во Тюменского ГНГУ, 2004. – 120 с.

Дополнительная

5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – Москва, Высшая школа, 1982.
6. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. – Изд. 2-е перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
7. Руденко В.И. и др. Основы преобразовательной техники. Учебник для ВУЗов, 2-е издание. – Москва, Высшая школа, 1980.
8. Чебовский О.Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. – Ленинград, Энергия, 1985.



Экзаменационный билет № 4

по дисциплине: *«Силовые преобразователи в
электрооборудовании»*

ЭЛТИ, курс 4

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?

Лектор: профессор

Б.В. Лукутин

Зав. кафедрой ЭСПП

Б.В. Лукутин

ВОПРОСЫ,



выносимые на текущий контроль знаний
по курсу «Силовые преобразователи в электроснабжении»

1. Определение мощности потерь в СПП.
2. Схемы формирования импульсов управления тиристорами.
3. Способы фазового управления тиристорами.
4. Методы расчета тепловых режимов СПП.
5. Динамические параметры СПП.
6. Остаточные параметры тиристорного ключа.
7. Понятие естественной и искусственной коммутации тиристорных. Принципы построения схем искусственной коммутации.
8. Характеристики быстродействия тиристорного коммутатора переменного тока с естественной и искусственной коммутацией вентилей.
9. Особенности построения трехфазных тиристорных коммутаторов.
10. Разновидности выпрямителей.
11. Коммутационные процессы в выпрямителе, параметры, определяющие величину угла коммутации.
12. Общепринятые допущения, принимаемые при исследовании силовых выпрямителей.
13. Коэффициенты преобразования выпрямителя по току, напряжению и мощности.
14. Выбор вентилей для выпрямителя и расчет их тепловых режимов.
15. Величина реактивной мощности, потребляемая неуправляемым силовым выпрямителем.
16. Управляемые выпрямители, способы регулирования величины выпрямленного напряжения.
17. Влияние углов управления вентилями выпрямителя на его энергетические характеристики.
18. Внешние характеристики управляемого трехфазного мостового выпрямителя и режимы его работы.
19. Основные типы сложных схем выпрямителя.
20. Специальные схемы выпрямителей: компенсированные выпрямители, несимметричные.
21. Инверторный режим работы выпрямителей.
22. Гармонический состав фазных токов трехфазного мостового выпрямителя.
23. Методика анализа искажений напряжения сети, питающей силовой выпрямитель.
24. Классификация тиристорных регуляторов-стабилизаторов напряжения, тока, мощности.



25. Энергетические характеристики фазорегулируемой биполярной тиристорной ячейки.
26. Особенности работы фазорегулируемых регуляторов переменного тока в однофазных и трехфазных с трех- и четырехпроводных системах.
27. Основные типы статических преобразователей частоты.
28. Принцип действия и основные типы автономных инверторов.
29. Основные характеристики выпрямительно-инверторных преобразователей частоты.
30. Основные характеристики преобразователей частоты с непосредственной связью с естественной и искусственной коммутацией вентилей.
31. Особенности формирования питающего напряжения для частотно-регулируемых электроприводов.
32. Области применения вентильных преобразователей параметров электроэнергии.