



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЭЛТИ

_____ Суржиков А.П.

« ___ » _____

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Рабочая программа для направления 140200 – Электроэнергетика

Индекс дисциплины СД.Ф.02

Всего часов – 178,5, по Госстандарту – 180 часов

Электротехнический институт (ЭЛТИ)

Обеспечивающая кафедра «Электрические системы» (ЭЛСИ)

Курс 5

Семестр 9

Учебный план набора 2001 года

Распределение учебного времени

Лекции	47 часов (ауд)
Лабораторные занятия	8 часов (ауд)
Практические (семинарские занятия)	30 часов (ауд)
Курсовой проект в ___ семестре	
Курсовая работа в ___ семестре	
Всего аудиторных занятий	85 часов
Самостоятельная (внеаудиторная работа)	93,5 часа
Общая трудоемкость	178,5 часов
Экзамен в 9 семестре	
Зачет в _____ семестре	
Дифзачет в ___ семестре	

Томск 2005



ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 140200 – Электроэнергетика, утвержденного заместителем Министра образования РФ от 27.03.2000 года.

РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей кафедры ЭЛСИ протокол № 2 от 22.09.05

2. Разработчик – профессор кафедры ЭЛСИ Хрущев Ю.В.

3. Зав. кафедрой ЭЛСИ Хрущев Ю.В.

4. Рабочая программа СООТВЕТСТВУЕТ действующему учебному плану.

Зам. директора ЭЛТИ по
методической работе

Дудкин А.Н.

ОДОБРЕНО методической комиссией ЭЛТИ.

Председатель метод.комиссии ЭЛТИ
по направлению «Электроэнергетика»

Готман В.И.



АННОТАЦИЯ

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (Эл/мех. ПП в ЭЭС)

140200 (Б)

Кафедра ЭЛСИ ЭЛТИ

Профессор Хрущев Юрий Васильевич

тел. (3822) 563763

Цель: формирование знаний об основных электромеханических процессах, критериях и методах расчета устойчивости параллельной работы электрических машин и умений построения математических моделей, проведения расчетов и анализа процессов, происходящих в нормальных и аварийных схемно-режимных состояниях электроэнергетических систем.

Содержание: статическая и динамическая устойчивость энергосистем; процессы в узлах нагрузки при больших и малых возмущениях; асинхронные режимы и результирующая устойчивость энергосистем; мероприятия по повышению устойчивости и качества электромеханических переходных процессов энергосистем.

Курс 5 (9 семестр – экзамен).

Всего 178,5 ч., в т.ч.: ЛК – 47 ч., ЛР – 8 ч., ПР – 30 ч.



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. ЦЕЛИ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах» является вводным в широкий круг проблем моделирования переходных режимов энергосистем и управления ими. Поэтому в качестве целевой установки преподавания и изучения этого курса следует рассматривать глубокое усвоение студентами физических основ функционирования энергосистем в переходных режимах и принципов построения систем регулирования и противоаварийного управления. Учитывая нестандартность многих задач управления режимами энергосистем, важное значение имеет развитие у студентов самостоятельного инженерного мышления.

В результате изучения дисциплины студенты должны приобретать знания, умения и опыт, достаточные для изучения специальных дисциплин и для дальнейшей инженерной работы.

Цели преподавания дисциплины: формирование знаний об основных электромеханических процессах, критериях и методах расчета устойчивости энергосистем и умений построения математических моделей, проведение расчетов и анализа процессов, происходящих в нормальных и аварийных схемно-режимных состояниях электроэнергетических систем.

Студенты, завершившие изучение курса должны:

иметь представление:

- о связи курса с другими дисциплинами и его месте среди остальных курсов специальности;
- о роли курса в подготовке студентов данной специальности;
- о сфере применения полученных в результате изучения курса знаний;
- о методах расчета и анализа изучаемых процессов;
- о последствиях аварийного развития процессов;
- о средствах предотвращения аварийного развития процессов.

знать:

- терминологию, основные понятия и определения;
- основные виды больших и малых возмущающих воздействий;
- основные критерии оценки статической и динамической устойчивости энергосистем;
- регламентированные «Руководящими указаниями...» требования к запасам статической устойчивости энергосистем;
- методологические основы расчета пределов и запасов устойчивости энергосистем;
- основные задачи расчета устойчивости узлов нагрузки;



- состав средств, используемых в практике эксплуатации, для обеспечения устойчивости энергосистем.

уметь:

- оценивать последствия нарушения устойчивости энергосистем;
- формулировать задачи анализа устойчивости энергосистем;
- составлять математические модели для проведения расчетов устойчивости энергосистем;
- проводить расчеты устойчивости и формулировать выводы по полученным результатам;
- оформлять результаты расчета и анализа в соответствии с требованиями ЕСКД.

иметь опыт (владеть):

- выявления расчетным путем устойчивых и неустойчивых режимов энергосистем;
- выбора средств обеспечения устойчивости режимов энергосистем;
- цифрового моделирования и анализа электромеханических процессов, происходящих в энергосистемах.
- представления результатов расчета в удобной для восприятия форме.

Теоретическую основу курса Эл/мех ПП В ЭЭС составляют следующие дисциплины: высшая математика (дифференциальное исчисление, векторный анализ), физика, теоретические основы электротехники, электроэнергетические системы и сети, электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах.

1.2. ЗАДАЧИ ИЗЛОЖЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Поставленные задачи достигаются путем лекционного изложения теоретического курса, приобретения теоретических знаний по лекциям и учебникам, выполнения цикла лабораторных работ, сопровождаемых анализом получаемых результатов, выполнения домашних работ, охватывающих разделы курса, проведение текущего и итогового контроля знаний.



2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ (ЛЕКЦИИ – 47 ЧАСОВ)

Основные разделы дисциплины по Госстандарту

Статическая устойчивость электрической системы; практические критерии устойчивости; метод малых колебаний; статическая устойчивость с учетом действия регуляторов возбуждения и скорости; переходные процессы в узлах нагрузки системы, устойчивость узлов нагрузки; динамическая устойчивость электрической системы; способ площадей; анализ процессов с учетом форсировки возбуждения; способы приближенного решения уравнения движения ротора генератора; понятие результирующей устойчивости; процесс выпадения генератора из синхронизма, условие ресинхронизации.

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КУРСА (2 ЧАСА)

Основные термины и определения. Содержание курса и его место в обучении. Виды переходных процессов. Основные положения, принимаемые при анализе.

2.2. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ (12 ЧАСОВ)

Уравнение движения ротора генератора в различных формах. Понятие о статической устойчивости энергосистемы. Практические критерии статической устойчивости энергосистемы. Собственные и взаимные сопротивления одномашинной энергосистемы. Угловые характеристики генератора при сложной связи с приёмной энергосистемой. Влияние промежуточных поперечных подключений (активного, индуктивного или ёмкостного сопротивления) на статическую устойчивость одномашинной энергосистемы. Линеаризация уравнений энергосистемы. Применение метода малых колебаний при исследовании статической устойчивости одномашинной энергосистемы. Векторные диаграммы напряжений и токов нерегулируемого и регулируемого генераторов. Автоматические регуляторы возбуждения пропорционального и сильного действия. Угловые характеристики генератора с автоматическим регулированием возбуждения. Самораскачивание роторов генераторов и причины его возникновения. Развитие процесса самораскачивания регулируемого генератора. Упрощённые математические модели регулируемого генератора. Понятие о синхронной оси; абсолютное и относительное движение роторов генераторов. Уравнения малых колебаний и критерий статической устойчивости двухмашинной энергосистемы. Угловые характеристики мощности и пределы статической устойчивости двухмашинной энергосистемы.

2.3. ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ (12 ЧАСОВ)



Понятие о динамической устойчивости энергосистемы. Математические модели элементов энергосистемы. Способ площадей и критерий динамической устойчивости энергосистемы. Определение предельного угла отключения поврежденной цепи линии электропередачи. Метод последовательных интервалов и предельное время отключения поврежденной цепи линии электропередачи. Динамическая устойчивость простейшей энергосистемы при полном сбросе мощности. Проверка устойчивости при работе ТАПВ и ОАПВ на линиях электропередачи. Процессы при отключении части генераторов. Изменение токов и напряжений генератора при форсировке возбуждения. Применение форсировки возбуждения для обеспечения динамической устойчивости энергосистемы. Условия успешной синхронизации при подключении генератора к электрической сети. Электромеханические процессы в переходных режимах двухмашинной энергосистемы. Способ площадей и критерий динамической устойчивости двухмашинной энергосистемы. Динамическая устойчивость энергосистем с дефицитом мощности.

2.4. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ НАГРУЗКИ (6 ЧАСОВ)

Статические характеристики элементов нагрузки: осветительная нагрузка; реактор; конденсаторная батарея; синхронный компенсатор, синхронный двигатель, асинхронный двигатель. Статические характеристики комплексных нагрузок. Коэффициенты крутизны и регулирующие эффекты нагрузки. Статическая устойчивость асинхронного двигателя: критерий статической устойчивости; предел статической устойчивости; критическое скольжение; критическое напряжение. Влияние внешнего сопротивления и частоты в энергосистеме на статическую устойчивость асинхронного электродвигателя. Вторичные признаки устойчивости асинхронного электродвигателя. Лавина напряжения. Вторичные признаки (критерии) статической устойчивости комплексной нагрузки. Влияние компенсирующих устройств на статическую устойчивость нагрузки.

2.5. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В УЗЛАХ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПРИ БОЛЬШИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ (6 ЧАСОВ)

Возмущающие воздействия и большие возмущения в узлах нагрузки. Динамические характеристики осветительной нагрузки, асинхронного двигателя, синхронного двигателя. Динамическая устойчивость синхронного двигателя. Самозапуск асинхронных двигателей. Процессы при пусках двигателей. Самоотключения электроустановок и восстановление нагрузки при кратковременных нарушениях электроснабжения. Мероприятия по снижению больших возмущений и их влияния на нагрузку.



2.6. АСИНХРОННЫЕ РЕЖИМЫ, РЕСИНХРОНИЗАЦИЯ И РЕЗУЛЬТИРУЮЩАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ (5 ЧАСОВ)

Термины и определения: синхронные качания, асинхронный ход, ресинхронизация, результирующая устойчивость. Параметры и характеристики элементов электрических систем при асинхронных режимах: элементы электрической сети, синхронные генераторы, первичные двигатели, нагрузка. Ресинхронизация генератора, работающего в асинхронном режиме с повышенной скоростью. Изменение параметров режима при асинхронном ходе генераторов. Электрический центр качаний.

2.7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ (4 ЧАСА)

Основные, дополнительные и режимные мероприятия по повышению устойчивости и качества переходных процессов энергосистем. Эффективность основных мероприятий: уменьшение реактивных сопротивлений генераторов; увеличение постоянной инерции; расщепление проводов фаз линий электропередачи. Эффективность дополнительных мероприятий: сооружение переключательных пунктов на линиях электропередачи; применение емкостной компенсации индуктивных сопротивлений линий электропередачи; использование электрического торможения генераторов. Эффективность мероприятий режимного характера: автоматическое отключение части генераторов в аварийном режиме; автоматическое отключение части нагрузки при снижении частоты в энергосистеме.

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (30 ЧАСОВ)

- 3.1. Расчет обобщенных параметров, пределов и запасов статической устойчивости одномашинной энергосистемы при сложной связи с приемной системой – 4 часа, ауд. (4 часа с/р).
- 3.2. Линаризация «в малом» и метод малых колебаний при анализе устойчивости двухмашинной энергосистемы (семинар) – 4 часа, ауд. (4 часа с/р).
- 3.3. Расчет схем замещения и динамической устойчивости одномашинной и двухмашинной энергосистем – 4 часа, ауд. (4 часа с/р).
- 3.4. Отключение части генераторов (ОГ) и форсировка возбуждения (ФВ) как средства обеспечения динамической устойчивости энергосистем – 4 часа, ауд. (4 часа с/р).
- 3.5. Расчет статической устойчивости комплексной нагрузки по вторичным признакам – 4 часа, ауд. (4 часа с/р).



- 3.6. Переходные процессы в узлах нагрузки при больших возмущениях – 4 часа, ауд. (4 часа с/р).
- 3.7. Асинхронные режимы, ресинхронизация и результирующая устойчивость энергосистемы – 4 часа, ауд. (4 часа с/р).
- 3.8. Мероприятия по повышению устойчивости параллельной работы генераторов энергосистем (семинар) – 2 часа, ауд. (3,5 часа с/р).

3.2. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ (8 ЧАСОВ)

1. Расчет и анализ статических режимных характеристик одномашинной энергосистемы – 2 часа, ауд. (8 часов с/р).
2. Исследование статической устойчивости одномашинной энергосистемы – 4 часа, ауд. (8 часов с/р).
3. Выбор управляющих воздействий по условиям сохранения динамической устойчивости одномашинной энергосистемы – 2 часа, ауд. (8 часов с/р).
4. Построение статических характеристик и исследование статической устойчивости асинхронного электродвигателя – 2 часа, ауд. (8 часов с/р).

3.3. ТЕМАТИКА ДОМАШНИХ РАБОТ (30 ЧАСОВ С/Р)

Целью домашних работ является развитие представлений об основных электромеханических процессах и приобретение навыков расчетов статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем.

В процессе работы:

- составляется схема замещения для проведения расчетов статической устойчивости двухмашинной энергосистемы; модификация этой схемы используется для расчетов динамической устойчивости одномашинной энергосистемы;
- проводится расчет пределов и запасов статической устойчивости двухмашинной энергосистемы с учетом того, что: а) генераторы оснащены автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ) пропорционального действия; б) генераторы оснащены АРВ сильного действия;
- проводится расчет предельного угла и предельного времени отключения поврежденной цепи двухцепной одномашинной энергосистемы при двухфазном коротком замыкании (КЗ) в заданной точке линии;
- проводится расчет динамического перехода одноцепной одномашинной энергосистемы при однофазном КЗ, отключении поврежденной фазы и последующем успешном автоматическом повторном включении этой фазы;
- проводится расчетное обоснование мероприятий по повышению предела статической устойчивости энергосистемы.



Выполнение этих расчетных домашних работ позволяет осмыслить содержание основных терминов и понятий, используемых в практике анализа устойчивости электроэнергетических систем и приобрести навыки расчета основных видов электромеханических переходных процессов в этих системах.

Оформление домашних работ производится в виде двух расчетно-пояснительных записок в объеме каждой из них до 15 страниц.

Каждая расчетно-пояснительная записка должна содержать задание, исходные данные и расчетную схему. Решение поставленных задач должно быть разбито по разделам. В пределах каждого раздела необходимо:

1. сформулировать задачу, решаемую в разделе;
2. привести поясняющие схемы замещения и этапы их преобразования;
3. пояснить последовательность решения задачи;
4. привести расчетные формулы в общем виде с последующей подстановкой цифровых значений величин и результатов расчета;
5. привести масштабные построения рассчитанных характеристик, дать краткий анализ полученных результатов расчета с соответствующими выводами;
6. в тексте записки дать ссылки на используемую техническую и справочную литературу;
7. в конце записки привести список использованной литературы и оглавление;
8. на последнем листе привести фактически затраченное время на работу.

4. ПРОГРАММА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

По видам самостоятельная познавательная деятельность распределяется следующим образом:

- выполнение и защита домашних заданий – 30 ч.
- обработка результатов, оформление и защита лабораторных работ – 32 ч.
- подготовка к практическим занятиям – 31,5 ч.

Распределение времени по модулям дисциплины представлено в таблице 1.

Таблица 1

	Модуль теоретического раздела	объем, час	литература
4.1.	Основные положения курса	2	[1]
4.2.	Статическая устойчивость энергосистем	24	[1,4]
4.3.	Динамическая устойчивость энергосистем	22	[1,4]
4.4.	Статическая устойчивость нагрузки	12	[1,3]
	Переходные процессы в узлах нагрузки	10	[1,3]



	энергосистем при больших возмущениях		
4.6.	Асинхронные режимы, ресинхронизация и результирующая устойчивость энергосистем	9	[1]
4.7.	Мероприятия по повышению устойчивости и качества переходных процессов энергосистем	6	[1]

5. ТЕКУЩИЙ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Целью текущего контроля знаний студентов является проверка ритмичности работы студентов, оценка усвоения теоретического, практического материала и приобретенных знаний, умений и навыков.

Текущий контроль обеспечивается:

- опросом студентов на практических занятиях;
- допуском к выполнению лабораторных работ с защитой результатов их выполнения (минимальный уровень знаний оценивается по контрольным вопросам, помещенных в методических указаниях по выполнению лабораторных работ);
- отчетностью студентов по результатам выполнения разделов домашних работ в соответствии с графиком;
- ежемесячной аттестацией студентов по результатам посещения лекционных и практических занятий, выполнения и защиты лабораторных работ, опроса на практических занятиях, выполнения контрольных заданий по теоретическому материалу.

По дисциплине разработано 27 экзаменационных билетов, в каждом из которых представлено по два теоретических вопроса.



6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ

При изучении дисциплины, выполнении курсовой работы, практических занятий и лабораторных работ используется следующее учебно-методическое обеспечение:

- оригинальные компьютерные программы по каждой из лабораторных работ;
- сборник «Лабораторный практикум» с индивидуальными заданиями по каждой из лабораторных работ;
- индивидуальные задания и методические указания к выполнению домашних работ;
- компьютерные классы с установленным программным обеспечением;
- учебники централизованного издания;
- календарный план изучения дисциплины.

6.2. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1985. – 100 экз
2. Хрущев Ю.В. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Лабораторный практикум. – Томск: изд. ТПУ, 2002. – 250 экз.

Дополнительная

3. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 7 экз.
4. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979. – 22 экз.
5. Хрущев Ю.В., Готман В.И. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Методические указания к рабочей программе и домашним работам. – Томск: изд. ТПУ, 2004. – 300 экз.
6. A.Engler, Ch.Hardt, M.Landau, V.Schleusch, A.Shustov, B.Valov «Mittelspannungsnetznachbildung zur Untersuchung verteilter elektrischer Versorgungssysteme». www.iset.uni-kassel.de