

Федеральное агентство по образованию
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой энергетики
_____ Н.В.Савина
« ____ » _____ 2007 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Электромеханические переходные процессы (часть 2)»
для специальностей 140205 – Электроэнергетические системы и сети
140203 - Релейная защита и автоматизация

Составитель: докт. техн. наук, проф. Н.Ш.Чемборисова

Благовещенск

2007 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного университета

Н.Ш.Чемборисова

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Электромеханические переходные процессы (часть 2)» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети и 140203 - Релейная защита и автоматизация – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.

Учебно-методический комплекс ориентирован на оказание помощи студентам очной и заочной форм обучения по специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети, а также 140203 - Релейная защита и автоматизация для формирования специальных знаний в области управления режимами энергосистем при подготовке в качестве специалистов в сфере электроэнергетики на любом уровне (энергосистема, предприятие электрических сетей, район электрических сетей).

© Амурский государственный университет, 2007

© Н.Ш.Чемборисова

Аннотация

Настоящий УМКД предназначен в помощь студентам всех форм обучения по специальностям: 140205 – Электроэнергетические системы и сети, 140203 - Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем при изучении дисциплины «Электромеханические переходные процессы (часть 2)».

При его написании учитывались рекомендации из положения «Об учебно-методическом комплексе дисциплины». УМКД разрабатывался на основе утвержденных в установленном порядке Государственного образовательного стандарта, типовых учебных планов и рабочей программы дисциплины, а также нормативных документов Министерства образования и науки Российской Федерации по вопросам организации учебно-воспитательного процесса. Исключением стали следующие пункты, которые не предусматриваются рабочей программой дисциплины «Электромеханические переходные процессы (часть 2)»:

- программа дисциплины, соответствующая требованиям государственного образовательного стандарта
- методические рекомендации по проведению практических занятий и т.п.;
- методические указания по выполнению расчетно-графических работ и контрольных работ.

Содержание

1. Рабочая программа дисциплины.....	5
2. Конспект лекций	17
5. Методические указания к практическим занятиям	35
6. Самостоятельная работа студентов	38
7. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины.....	50
8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов (материалы по контролю качества образования).....	50
9. Контрольные вопросы к зачету (экзамену).....	51
10. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.....	55

1. Рабочая программа дисциплины.

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР
_____ Е.С. Астапова

"__" _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине “Электромеханические переходные процессы (часть 2)”

для специальностей: 140205 – Электроэнергетические системы;
140203 - Релейная защита и автоматизация

Курс 3	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
Семестр	4	
Лекции (час)	30	
Практические занятия	15	
Самостоятельная работа	27	
КСР	30	
Контрольная работа		
Зачет	8 семестр	
ВСЕГО часов	72	

Факультет энергетический

Кафедра Энергетики

Составитель: Чемборисова Н.Ш., проф., докт. техн.наук

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 650900 «Электроэнергетика» для специальности 140205 – Электроэнергетические системы и сети

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики

« ____ » _____ 200_ г. (протокол № _____)

Зав.кафедрой _____ (Н.В.Савина)

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методического совета направления (специальности) _____

« ____ » _____ 200_ г. (протокол № _____)

Председатель УМС _____ (_____)

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМУ

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМС факультета

« ____ » _____ 200_ г.

« ____ » _____ 200_ г.

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедры

« ____ » _____ 200_ г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ; ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Функционирование электроэнергетической системы (ЭЭС) всегда сопровождается разного рода переходными процессами. Подобные процессы связаны в основном с изменениями текущего состояния системы: включение и отключение генераторов, трансформаторов, линий электропередач, изменение нагрузок и т.д. и реакцией на них регулирующих устройств, устройств релейной защиты и противоаварийного управления. Обеспечение управления переходными процессами требует их анализа с помощью различных математических методов, позволяющих вести поиск оптимального управления элементами ЭЭС.

Государственный образовательный стандарт предусматривает изучение курса “Электромеханические переходные процессы (часть 2)” для специальности 140205/по выбору студентов/.

Государственный образовательный стандарт

СД 02. Электромеханические переходные процессы:

Статическая устойчивость электрической системы; практические критерии устойчивости; устойчивость узлов нагрузки; динамическая устойчивость электрической системы; понятие результирующей устойчивости; процесс выпадения генератора из синхронизма.

СД 03. Автоматика энергосистем:

Принципы построения систем автоматического управления в электроэнергетике; автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем; основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы.

1.1 Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины является подготовка студентов в области анализа электромеханических переходных процессов и влияния на них работы устройств регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты. изучение и практическое освоение методов исследования протекающих в электрических системах электромеханических процессов с точки зрения

влияния их на ее устойчивость и способов управления этими процессами для повышения уровня устойчивости и экономичности функционирования энергосистемы в целом, а также надежности и качества электроснабжения потребителей.

1.2 Задачи изучения дисциплины

Задачей изучения дисциплины является освоение студентами принципов и методов анализа электромеханических переходных процессов с учетом действия средств регулирования и управления

1.3 Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо студентам при изучении данной дисциплины

Изложение содержания дисциплины базируется на математической и общей электротехнической подготовке и знаниях, полученных при изучении специальных дисциплин “Математические задачи энергетики”, “Переходные процессы в электрических системах”, “Электрическая часть станций и подстанций”, “Электрические сети и системы”, “Применение ЭВМ в энергетике”.

1.4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- иметь ясное представление о физике переходных электромеханических процессов в синхронных и асинхронных машинах, узлах комплексной нагрузки и энергосистемы в целом;
- знать основные методы анализа статической и динамической устойчивости электрических систем с учетом работы регуляторов, устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, знать об особенностях протекания электромеханических процессов с учетом условий региона и основных мероприятий по обеспечению статической, динамической и результирующей устойчивости электрических систем;

- уметь разбираться в принципах действия и влиянии устройств регулирования и управления на электромеханические переходные процессы и послеаварийные установившиеся режимы работы электроэнергетических систем;
- иметь практические навыки применения математического моделирования переходных процессов и анализа складывающейся в энергосистеме схемно-режимной ситуации.

2. ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (30 часов)

В лекционном курсе рассматриваются вопросы анализа аварийных режимов в ЭЭС, устойчивости установившихся режимов энергосистемы, задачи противоаварийного управления ее режимами, основы теории автоматического управления. Изучаются возможности автоматического управления режимами и основные способы воздействия на элементы энергосистемы в аварийных ситуациях. Дается сравнительная характеристика эффективности способов воздействия. Рассматриваются принципы организации и требования к системам противоаварийного управления, к диспетчерским тренажерам.

Тема 1. ЭЭС как объект противоаварийного управления.

Основные определения. Характер аварийных режимов в ЭЭС. Качество переходного режима. Задачи противоаварийного управления энергосистемой.

Тема 2. Устойчивость установившегося режима ЭЭС.

Общая характеристика устойчивости. Виды устойчивости. Поведение системы на границе области устойчивости. Методы оценки устойчивости применительно к задачам энергетики. Запасы устойчивости.

Тема 3. Динамическая устойчивость в ЭЭС и влияние на нее устройств противоаварийного управления.

Математические основы теории оптимального управления режимами энергосистем. Оценка влияния на устойчивость автоматического повторного

включения линий, импульсной разгрузки генераторов, отключения части генераторов. Работа делительной автоматики в ЭЭС.

Тема 4. Регулирование частоты и мощности в ЭЭС.

Автоматическое регулирование частоты и мощности в ЭЭС. Анализ переходных режимов с учетом влияния АРЧМ. Управление режимами в темпе процесса. Регулирование реактивной мощности. Частотная разгрузка и ограничение напряжения в узлах системы. Влияние их работы на электромеханические процессы в ЭЭС.

Тема 5. Противоаварийное управление Зейской ГЭС.

Выбор характерных режимов для анализа работы устройств противоаварийного управления. Основные расчетные схемы. Принципы действия и уставки устройств противоаварийного управления.

Тема 6. Разбор системных аварий для анализа устойчивости и обучения персонала.

Разбор аварий. Оценка правильности действия автоматических устройств и учет человеческого фактора. Экономические последствия аварий.

Тема 7. Способы воздействия на элементы ЭЭС в аварийных ситуациях.

Средства противоаварийного управления энергосистемой. Сравнительная оценка эффективности и обоснование применения средств противоаварийного управления.

Тема 8. Организация автоматической системы противоаварийного управления.

Структура автоматической системы противоаварийного управления. Локальные устройства управления. Определение объема воздействия. Централизованные устройства управления. Алгоритмы организации адаптивной и неадаптивной централизованной системы управления. Иерархическая система противоаварийной автоматики. Алгоритмы ее организации. Координация на уровнях управления.

Тема 9. Диспетчерские тренажеры: виды, назначение, основные функции.

3. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

На практических занятиях выполняются расчеты устойчивости, выбор способов воздействия на элементы и режимы ЭЭС, способов управления в аварийных ситуациях.

№ темы	Тема занятия	Число Часов
1.	Исследование устойчивости работы регулируемого генератора, работающего на ШБМ	2
2.	Определение динамической устойчивости системы с учетом АРВ и АПВ численными методами	2
3.	Оценка устойчивости ЭЭС после отключения части генераторов или их импульсной разгрузке.	2
4.	Исследование эффективности различных способов противоаварийного управления режимами ЭЭС	2
5.	Определение устойчивости послеаварийного режима с использованием упрощенного алгоритма расчета.	2
6.	Исследование устойчивости нагрузки по практическим критериям устойчивости, влияния компенсации реактивной мощности нагрузки на устойчивость нагрузки системы	2
7.	Выбор оптимального управляющего воздействия	3

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА (27 часов)

Включает изучение лекционного материала и соответствующей литературы при подготовке к практическим занятиям и выполнению курсовой работы, расчеты и их графическое оформление. Тематика и распределение времени на самостоятельную работу студентов представлена в разделе 4.

2.4 Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;

- решение домашних заданий с последующей их проверкой на практических занятиях;
- составление рефератов и их последующая защита на семинарских занятиях.

5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

В процессе изучения дисциплины «Электромеханические переходные процессы (часть 2)» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- экспресс-опрос лектора по итогам изучения разделов курса;
- выполнение КСР и контрольных работ по темам, рассмотренным на практических занятиях.

По курсовой работе контроль три раза в семестр по пунктам: 1, 2, 3 – первая контрольная точка; 4, 5 – вторая контрольная точка; 6, 7 – третья контрольная точка.

По практическим занятиям контроль три раза в семестр по пунктам: 1, 2 – первая контрольная точка, 3, 4, 5 – вторая контрольная точка, 6, 7 – третья контрольная точка.

6. КУРСОВАЯ РАБОТА

В курсовой работе в соответствии с заданием выполняется расчет и анализ послеаварийных режимов системы, выбор требуемого способа воздействия при нарушении устойчивости, расчет оптимальных мест приложения управляющих воздействий.

Задания к курсовой работе: в схемах, просчитанных в курсовой работе по дисциплине "Электромеханические переходные процессы (часть 1)":

1. Определить "слабые" узлы,
2. Создать двухузловой эквивалент с учетом "слабых" узлов,
3. Оценить динамическую устойчивость к расчетной аварии

4. Выбрать оптимальные управляющие воздействия, позволяющие ввести режим в допустимую область,
5. Рассчитать послеаварийный режим в полной схеме методом Ньютона или методом Стотта,
6. Оценить статическую устойчивость послеаварийного режима по сходимости расчета, по полному или упрощенному якобиану,
7. Выбрать подходящий метод расчета для целей противоаварийного управления,
8. Провести расчет предельного режима по промышленной программе.

Задания к практическим занятиям:

Приведены в учебно-методическом пособии "Управление переходными режимами в ЭЭС" (авторы Н.Ш. Чемборисова, В.А. Гаврилов, А.В. Пешков, 1998г.) вариант 1, стр. 28,30, 29,31.

Контроль самостоятельной работы студентов:

1. По курсовой работе три раза в семестр по пунктам: 1, 2, 3 – первая контрольная точка; 4, 5 – вторая контрольная точка; 6, 7 – третья контрольная точка.
2. По практическим занятиям три раза в семестр по пунктам: 1, 2 – первая контрольная точка, 3, 4, 5 – вторая контрольная точка, 6, 7 – третья контрольная точка.

9. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины «Электромеханические переходные процессы (часть 2)»

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практ.	лаб		содержание	час	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	Тема 1- 2 часа ЭЭС как объект противоаварийного управления. Основные определения. Задачи противоаварийного управления энергосистемой.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.		2	Выборочный опрос
	1	Характер аварийных режимов в ЭЭС. Качество переходного режима.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.		2	Выборочный опрос
	2	Тема 2 – 2 часа Устойчивость установившегося режима ЭЭС. Общая характеристика устойчивости. Виды устой-			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ,		2	Выборочный опрос

		чивости. Поведение системы на границе области устойчивости. Методы оценки устойчивости применительно к задачам энергетики.			2006. Основы расчетов переходных режимов. Чемборисова Н.Ш. Благовещенск: АмГУ, 2002		
3		<i>Тема 3 – 2 часа</i> Динамическая устойчивость в ЭЭС и влияние на нее устройств противоаварийного управления Математические основы теории оптимального управления режимами энергосистем. Оценка влияния на устойчивость автоматического повторного включения линий, импульсной разгрузки генераторов, отключения части генераторов. Работа делительной автоматики в ЭЭС.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Методы решения задач электроэнергетики с использованием ЭВМ. Благовещенск: АмГУ, 2002. Алгоритмизация решения задач АСУ в электроэнергетике. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Благовещенск: АмГУ, 2006	2	Выборочный опрос
4		<i>Тема 4 – 2 часа.</i> Регулирование частоты и мощности в ЭЭС. Автоматическое регулирование частоты и мощности в ЭЭС. Анализ переходных режимов с учетом влияния АРЧМ. Управление режимами в темпе процесса. Регулирование реактивной мощности. Частотная разгрузка и ограничение напряжения в узлах системы. Влияние их работы на электромеханический процессы в ЭЭС.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Методы решения задач электроэнергетики с использованием ЭВМ. Благовещенск: АмГУ, 2002.	2	Выборочный опрос
5		<i>Тема 5 – 2 часа.</i> Противоаварийное управление Зейской ГЭС. Выбор характерных режимов для анализа работы устройств противоаварийного управления. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.	2	Выборочный опрос
5		Основные расчетные схемы. Принципы действия и установки устройств противоаварийного управления. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.	2	Выборочный опрос
6		<i>Тема 6 – 2 часа.</i> Разбор системных аварий для анализа устойчивости и обучения персонала. Разбор аварий в США и России. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.	2	Выборочный опрос
6		Оценка правильности действия автоматических устройств и учет человеческого фактора. Экономические последствия аварий. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Методы решения задач электроэнергетики с использованием ЭВМ. Благовещенск: АмГУ, 2002.	2	Выборочный опрос
7		<i>Тема 7 – 2 часа.</i> Способы воздействия на элементы ЭЭС в аварийных ситуациях. Средства противоаварийного управления энергосистемой. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Методы решения задач электроэнергетики с использованием ЭВМ. Благовещенск: АмГУ, 2002.	2	Выборочный опрос
7		Сравнительная оценка эффективности и обоснование применения средств противоаварийного управления. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.	2	Выборочный опрос
8		<i>Тема 8</i> Организация автоматической системы противоаварийного управления. Структура автоматической системы противоаварийного управления. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.	2	Выборочный опрос
8		Локальные устройства управления. Определение объема воздействия. Централизованные устройства управления. Алгоритмы организации адаптивной и неадаптивной централизованной системы управления. 2 ч.			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.	1	Выборочный опрос
8		Иерархическая система противоаварийной автоматики. Алгоритмы ее организации. Координация на уровнях управления. 2 ч			Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В., Дорошенко Е.И. Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ,	1	Выборочный опрос

				2006. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Методы решения задач электро- энергетики с использованием ЭВМ. Благовещенск: АмГУ, 2002.			
	9	Тема 9. Диспетчерские тренажеры: виды, назначение, основные функции. 2 ч.		Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Методы решения задач электро- энергетики с использованием ЭВМ. Благовещенск: АмГУ, 2002.		1	Выборочный опрос

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Н.Ш.Чемборисова, А.В.Пешков, Е.И.Дорошенко Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.
2. Методы решения задач электроэнергетики с использованием ЭВМ. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Благовещенск: АмГУ, 2002.
3. Основы расчетов переходных режимов. Чемборисова Н.Ш. Благовещенск: АмГУ, 2002.
4. Алгоритмизация решения задач АСУ в электроэнергетике. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Благовещенск: АмГУ, 2006.
5. Чемборисова Н.Ш. Оценка допустимых режимов электроэнергетических систем. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 1998. – 93 с.
6. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике /Под общей ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. –648 с.
7. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов – М.: Изд-во «Мастерство»; Высшая школа, 2001. – 320 с.
8. Чемборисова Н.Ш., Гаврилов В.А., Пешков А.В. Управление переходными режимами электроэнергетических систем – Благовещенск: АмГУ, 1998.

Дополнительная

9. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.школа, 1985.
10. Электрические системы: Управление переходными режимами электроэнергетических систем./ Под ред. В.А. Веникова. М.: Высш. школа, 1989.
10. Противоаварийное управление ЭЭС./ Под ред. В.А. Савалова. М.: Энергоатомиздат, 1989.
11. Чебан В.М. и др. Управление режимами электроэнергетических систем в аварийных ситуациях. М.: Высш. школа, 1990.

12. Куропаткин П.В. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высш.школа, 1980.
13. Гуревич Ю.Е. и др. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1990.
14. Кощев Л.А. Автоматическое противоаварийное управление в электро-энергетических системах. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
15. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979.

КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. ВВЕДЕНИЕ

Управление режимами работы электроэнергетической системы представляет собой сложный процесс выработки и принятия основных решений по выбору схемы электрических соединений, составу работающего электрооборудования и оценки его параметров, проведения расчетов установившихся и переходных режимов, решения задач оптимизации для отдельных объектов и системы в целом. На современном этапе необходим системный подход при изучении объекта управления и при автоматизации управления с помощью персонального компьютера, использовании результатов новейших достижений науки и техники.

Изучение процесса управления работой электроэнергетической системы (ЭЭС) требует знания основ методов управления, использования новейших достижений науки и техники, анализа ретроспективных данных по режимам нормального функционирования и аварийным режимам. Необходимо рассчитывать и анализировать установившиеся и переходные режимы ЭЭС, их статическую и динамическую устойчивость.

Аварийные переходные процессы возникают при резких изменениях режима. К ним относятся короткие замыкания в системе с последующим их отключением, а также случайные (аварийные) отключения агрегатов или ЛЭП, несущих значительные нагрузки, т.е. большие возмущающие воздействия на систему. Такие воздействия приводят к значительным отклонениям режима от исходного состояния.

Динамическая устойчивость – это способность системы восстанавливать после большого возмущения исходное состояние или состояние, близкое к исходному (допустимое по условиям эксплуатации системы). Если после большого возмущающего воздействия синхронная работа системы сначала нарушается, а затем после допустимого по условиям эксплуатации асинхронного хода вос-

становливаются, считают, что система обладает результирующей устойчивостью.

2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ ЭЭС

В энергетике в круг задач, решаемых с использованием СУ, входят:

1. Сбор информации, формирование балансов мощности, электроэнергии, энергетических ресурсов – сбор и первичная обработка информации о схеме и режимах работы, формирование архивов данных, их корректировка и пополнение, формирование графиков ремонтов основного энергетического оборудования.
2. Определение допустимой области управления, комплекса средств управления и параметров их настройки - расчет установившегося режима; эквивалентирование при расчетах установившегося режима; эквивалентирование при расчетах электромеханических переходных процессов; проверка статической устойчивости; проверка динамической устойчивости; расчеты токов КЗ; расчеты уставок релейной защиты и автоматики; дозировка управляющих воздействий.
4. Сбор, первичная обработка и оценка текущей информации, оценка состояния, формирование архивов; ретроспективный анализ изменения параметров режима; контроль нагрузки наиболее энергоемких потребителей.
5. Контроль параметров режима, схемы сети, состояния оборудования; оперативный расчет установившегося режима; контроль и оценка допустимости режима по устойчивости; контроль состояния систем противоаварийной автоматики, средств телемеханики и каналов связи; автоматический анализ возможных аварийных ситуаций; автоматическая дозировка управляющих воздействий в системе противоаварийной автоматики; координирующая система противоаварийной автоматики.

3. СХЕМЫ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Энергосистема – технический объект, представленный как совокупность электростанций, приемников электрической энергии и электрических сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима.

Устойчивость энергосистем – способность сохранить синхронизм между электростанциями, или другими словами – возвращаться к установившемуся режиму после различного рода возмущений.

Связь – последовательность элементов, соединяющих две части энергосистемы. Данная последовательность может включать в себя кроме линий электропередачи, трансформаторы, системы (секции) шин, коммутационные аппараты, рассматриваемые как сетевые элементы.

Сечение – совокупность таких сетевых элементов одной или нескольких связей, отключение которых приводит к полному разделению энергосистемы на две изолированные части.

“Частичное сечение” – совокупность сетевых элементов (часть сечения), отключение которых, не приводит к делению энергосистемы на две изолированные части.

Исходя из требований к устойчивости, схемы энергосистемы подразделяются на следующие режимы:

Нормальные – когда все сетевые элементы, определяющие устойчивость находятся в работе;

Ремонтные, отличающиеся от нормальной тем, что из-за отключенного состояния одного или нескольких элементов электрической сети (а при эксплуатации – также из-за отключенного состояния устройствами противоаварийной автоматики) уменьшает максимально-допустимый переток в каком-либо сечении.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Различают установившиеся и переходные режимы энергосистем.

К установившимся режимам относятся режимы, которые характеризуются неизменными параметрами. Медленные изменения режима, связанные с внутрисуточными изменениями электропотребления и генерации, нерегулярными колебаниями мощностей, передаваемых по связям, работой устройств регулирования частоты и активной мощности и тому подобное, рассматриваются как последовательность установившихся режимов.

К переходным режимам относятся режимы от начального возмущения до окончания вызванных им электромеханических процессов (с учетом первичного регулирования частоты энергосистемы).

5. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ

При эксплуатации, исходя из требований к устойчивости энергосистем, переток мощности в сечениях в установившихся режимах подразделяются следующим образом:

- Нормальные перетоки мощности возможны, при наибольших допустимых перетоках называемые максимально-допустимыми;
- Вынужденные перетоки мощности возможны, при наибольших допустимых перетоках называемые аварийно-допустимыми.

Вынужденные перетоки допускаются для предотвращения или уменьшения ограничений потребителей, потери гидроресурсов, при необходимости строгой экономии отдельных видов энергоресурсов, неблагоприятном наложении плановых и аварийных ремонтов основного оборудования электростанций и сети, а также в режимах минимума нагрузки при невозможности уменьшения перетока из-за недостаточной маневренности АЭС (кроме сечений, примыкающих к АЭС).

При проектировании перетоки мощности в сечениях при установившихся режимах подразделяются следующим образом:

- Нормальные перетоки мощности возможны, при наибольших допустимых перетоках называемые максимально-допустимыми;
- Утяжеленные перетоки мощности.

Утяжеленным считается переток, характеризующийся неблагоприятным наложением ремонтов основного оборудования электростанций в режимах максимальных и минимальных нагрузок, если общая продолжительность существования таких режимов в течение года не превышает 10%.

6. КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ

Коэффициент запаса статической (апериодической) устойчивости по активной мощности в сечении (K_P) вычисляется по формуле:

$$K_P = \frac{P_{np} - (P + \Delta P_{нк})}{P_{np}}, \text{ где} \quad (1.1)$$

P_{np} – предельный по апериодической статической устойчивости переток активной мощности в рассматриваемом сечении;

P – переток в сечении в рассматриваемом режиме, $P > 0$;

$\Delta P_{нк}$ – амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в этом сечении (принимается, что под действием нерегулярных колебаний переток изменяется в диапазоне $P \pm \Delta P_{нк}$).

Значения коэффициента запаса по напряжению (K_U) относятся к узлам нагрузки и вычисляются по формуле:

$$K_U = \frac{U - U_{кр}}{U}, \text{ где} \quad (1.3)$$

U – напряжение в узле в рассматриваемом режиме;

$U_{кр}$ – критическое напряжение в том же узле, соответствующее границе статической устойчивости электродвигателей.

Критическое напряжение в узлах нагрузки 110 кВ и выше при отсутствии более точных данных следует принимать равным значению большей из двух величин: $0,7 \cdot U_{ном}$ и $0,75 \cdot U_{норм}$, где $U_{норм}$ – напряжение в рассматриваемом узле нагрузки при нормальном режиме энергосистемы.

Послеаварийный режим после нормативных возмущений должен удовлетворять следующим требованиям:

– Коэффициенты запаса по активной мощности – не менее 0,08;

- Коэффициенты запаса по напряжению – не менее 0,1;
- Токовые перегрузки сетевых элементов и генераторов не превышают значений, допустимых в течение послеаварийного режима.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО РЕЖИМА

Вычисление предельного по статической устойчивости перетока в сечении осуществляется утяжелением режима (увеличением перетока). При этом рассматриваются траектории утяжеления режима, представляющие собой последовательности установившихся режимов, которые при изменении некоторой группы параметров позволяют достичь границы области статической устойчивости.

Следует рассматривать увеличение перетока в сечении для ряда траекторий утяжеления, которые характерны для данной энергосистемы и различаются перераспределением мощности между узлами, находящимися по разные стороны рассматриваемого сечения. Значение $P_{пр}$ определяется по траектории, которой соответствует наименьшая предельная мощность.

Перетоки, предельные по статической устойчивости, и перетоки, допустимые в послеаварийных режимах, определяются с учетом перегрузки оборудования (в частности по току ротора генераторов), допустимой в течение 20 мин.

Для контроля соблюдения нормативных запасов устойчивости следует использовать значения перетоков активной мощности.

В области допустимых режимов должно быть обеспечено отсутствие самораскачивания. Допустимые перетоки определяются также допустимыми токовыми нагрузками (перегрузками с учетом их длительности) оборудования в заданном и в нормативных послеаварийных режимах и другими имеющимися ограничениями.

8. ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Возникает необходимость оценки статической устойчивости и ее запасов.

Причины нарушения статической устойчивости в реальных ЭЭС разнообразны: увеличение или перераспределение генерирующих мощностей (нагрузок), снижение напряжения, изменение схемы замещения и т.п. В связи с этим задачу исследования статической устойчивости и средств ее обеспечения необходимо разделить на несколько подзадач:

- 1) анализ апериодической статической устойчивости;
- 2) исследование статической устойчивости с учетом самораскачивания;
- 3) синтез структуры стабилизации всей ЭЭС и отдельных ее объектов.

Очередность и целесообразность решения этих подзадач определяются целью проводимых исследований. При оперативном управлении режимами, например, можно ограничиться только анализом апериодической статической устойчивости.

Опыт функционирования ЭЭС показывает, что необходимость в расчетах статической устойчивости системы с учетом самораскачивания возникает только при учете динамики автоматического регулирования в явном виде. Запасы устойчивости при этом связаны с утяжелением режимов, так как границы области устойчивых режимов деформируются в зависимости от вида утяжеления. Считая, что при правильной настройке систем регулирования самораскачивание в системе маловероятно, расчет запасов устойчивости можно проводить только для апериодического нарушения устойчивости.

Эксплуатация и проектирование энергосистем связаны с анализом расчетной апериодической статической устойчивости их установившихся режимов. Определитель матрицы Якоби в устойчивых режимах положительный, в неустойчивых режимах – отрицательный. В точке предельного режима якобиан равен нулю. Это позволяет предложить его для оценки расчетной устойчивости, если расчет режима идет по программам, в которых реализован метод Ньютона после их незначительной модификации.

Приближение к пределу расчетной устойчивости может быть обнаружено по сходимости итерационного процесса: вблизи предела сходимость резко ухудшается. Поэтому, вводя по ходу решения задачи контроль за скоростью

сходимости итерационного процесса при расчете электрического режима, можно путем соответствующего изменения режима обеспечить сохранение его в пределах, в которых соблюдается расчетная устойчивость.

9. УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Сущность способов воздействий на ЭЭС для сохранения ее ДУ состоит в изменении баланса мощности в рассматриваемой системе и перераспределении небалансов моментов для ограничения амплитуд взаимных качаний роторов, что способствует установлению нового установившегося режима. Виды воздействий, как правило, выбираются в зависимости от типа генератора – турбо- или гидрогенератор.

Рассмотрим применение на турбогенераторах импульсной разгрузки.

Импульсная разгрузка заключается в непосредственном изменении механической мощности турбины с последующим восстановлением мощности до сниженного значения, при котором обеспечивается необходимый запас по статической устойчивости в послеаварийном режиме.

Сигнал управления подаётся к системе регулирования в виде прямоугольного импульса с амплитудой A_n длительностью T_n и плавным экспоненциальным спадом с постоянной времени τ . Дозировка интенсивности импульсного воздействия производится по результатам анализа переходных процессов с учётом экспериментально полученных импульсных диаграмм (зависимости глубины разгрузки турбин от параметров импульса), с учётом предшествующего режима и тяжести аварии. Верхний предел интенсивности импульсного воздействия определяется условиями предотвращения переторможения.

Обычно импульсная разгрузка применяется для паровых турбин, в связи с экономической целесообразностью по сравнению с отключением генераторов, поэтому она часто называется аварийным управлением мощности паровых турбин (АУМПП). Основным преимуществом применения импульсной разгрузки

турбин является сохранение энергоблоков в работе и устранение недостатков, связанных с отключением генераторов.

Алгоритм расчёта остаётся тот же, что и при отключении части генераторов. Положительное влияние на устойчивость может оказать успешное АПВ.

10. РАБОТА ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ (АЛАР)

На связях, по которым возможны асинхронные режимы, предусматриваются устройства ликвидации асинхронных режимов, действующих, в том числе, на деление энергосистем. Ресинхронизация, как с применением автоматических устройств, так и самопроизвольная, должна резервироваться делением.

Допустимая длительность асинхронного режима и способ его прекращения устанавливаются для каждого сечения с учетом необходимости предотвращения повреждений оборудования энергосистемы, дополнительных нарушений синхронизма и нарушений электроснабжения потребителей. При этом особое внимание следует уделять устойчивости электростанций и крупных узлов нагрузки, вблизи которых может оказаться центр качаний.

При не сохранении устойчивости деление по сечению должно не приводить к каскадному развитию аварии при правильной работе ПА или к погашению дефицитной по мощности подсистемы из-за недостаточности объема АЧР.

11. РАЗГРУЗКА В ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

В послеаварийных установившихся режимах и нештатных ситуациях иногда приходится отключать часть нагрузки для того, чтобы режим оказался внутри допустимой области (АЧР, САОН). Из определения "слабых" узлов следует, что отключение нагрузки наиболее эффективно в таких узлах. Но максимально допустимый объем нагрузки удобно выбирать с использованием обобщенных показателей режима и определяемых по ним граничных значений и запасов. В реальных ЭЭС интерес представляет выбор такого УВ для узлов управления, находящихся на разных уровнях напряжения. Загрузка "слабых"

узлов в нештатной ситуации должна быть не больше граничных значений, определенных при изменении нагрузки этого узла. В противном случае объем отключаемой нагрузки следует уменьшать. При достижении минимальных граничных значений мощности (активной, реактивной или полной) в рассматриваемом узле управление отключение нагрузки следует проводить в следующем по уровню "слабости" узле. Здесь продолжение уменьшения мощности нагрузки за граничные значения может привести к потере устойчивости послеаварийного режима и каскадному развитию аварии.

При анализе устойчивости послеаварийных режимов к искажению результатов может привести отказ от учета частоты, поэтому программы расчета установившихся режимов с учетом изменения частоты позволяют исследовать режимы, возникающие после прекращения переходных процессов, более корректно. Из опыта эксплуатации известно, что причина большей части каскадных аварий кроется в нарушении устойчивости квазиустановившихся режимов. Здесь предполагают, что изменения параметров системы происходят со скоростью пренебрежимо малой по сравнению со скоростью протекания электро-механических переходных процессов.

12. АРЧМ И ОГРАНИЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В нормальных условиях работы при достаточных энергоресурсах и резервах генерирующих мощностей в математическом описании установившегося режима электроэнергетической системы обычно непосредственно не учитывают уравнения генераторных подсистем электрических станций, которые рассматриваются при идеализации регулирования частоты, напряжения, активных и реактивных мощностей. Тогда, благодаря достаточным резервам генерирующих мощностей, система автоматического регулирования и управления всегда обеспечивает заданные граничные условия этих подсистем в виде фиксированных значений частоты, модулей векторов напряжений и генерации активных мощностей в генераторных узлах.

В дефицитных условиях при недостаточных резервах активных и реактивных мощностей, и пропускных способностях межсистемных электрических связей, невозможно передать мощность, необходимую для электроснабжения всех потребителей при нормальных значениях частоты и напряжения. Тогда установившийся режим электроэнергетической системы может быть реализован при соответствующем снижении частоты и напряжения. Для уменьшения этих отрицательных отклонений частоты и напряжений от своих номинальных значений необходимо ограничение электропотребления. Поэтому в единой электроэнергетической системе в дефицитных условиях работы, математическое описание установившегося режима электроэнергетической системы учитывает поведение генерирующих и нагрузочных подсистем при неидеальном автоматическом регулировании режима с помощью уравнений самоустанавливающихся состояний. При этом параметры режима, которые фигурируют в уравнении установившегося режима в нормальных условиях работы, учитывают частоту и параметры, характеризующие настройку систем автоматического регулирования и управления и ограничение потребления электрической энергии.

13. КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ. ИЕРАРХИЯ УПРАВЛЕНИЯ

Для решения общей задачи комплексного управления были разработаны эффективные способы декомпозиции общей задачи управления сложной системой, то есть приведение к последовательно-параллельному решению соответствующих подзадач поэтапно во времени (временной), в ситуативном аспекте (ситуативной) и с разбивкой на подсистемы в пространстве (территориальной) иерархии. В общем, виде с учетом случайного и неопределенного характера исходной информации такая декомпозиция выполняется с применением принципа оптимальности и теории неявных функций, позволяющих правильно отражать ограничения в форме нелинейных равенств, в частности, уравнений установившегося режима электроэнергетической системы.

Процесс решения всей иерархии подзадач можно интерпретировать как многошаговый вычислительный процесс метода динамического программирования с применением эквивалентных характеристик каждой подзадачи.

Необходимо непосредственно учитывать поведение генераторных и нагрузочных подсистем с учетом всего соответствующего комплекса ограничений при автоматическом регулировании их режима.

Для повышения эффективности допустимых управлений в максимальной мере необходимо использовать допустимые области управления с учетом неполноты исходной информации и различных случайных, в том числе и аварийных возмущений.

В будущем основные принципы постановки и решения задач комплексного управления функционированием электроэнергетической системы, скорее всего, не изменятся. Характерными особенностями постановки задач является то, что вместо управления в нормальных условиях работы необходимо рассматривать управление в нормальных и дефицитных ситуациях с учетом отмеченных усложняющих факторов, новых моделей нагрузки и генерации, применяя дискретное управление. Актуальным для аварийных и послеаварийных ситуаций после больших возмущений становится развитие методов комплексного управления.

В условиях развития энергетики для обеспечения надежности и качества работы электроэнергетической системы актуальной является разработка методов комплексного управления не только нормальными, но и взаимосвязанными нормальными и аномальными (дефицитными, аварийными и послеаварийными) установившимися состояниями, а также комплексного обеспечения управляемости этими состояниями. В этих методах раскрывается иерархия подзадач комплексного многоэтапного иерархического адаптивного управления для аварийных и после аварийных условий работы и представлены методы их решения, а также поставлен вопрос о задачах комплексного обеспечения управляемости единой электроэнергетической системой.

Специфика задач и методов комплексного непрерывно-дискретного управления единой электроэнергетической системой для нормальных и дефицитных условий функционирования электроэнергетической системы связана с учетом поведения и настройки систем автоматического регулирующего управления.

Усложняется специфика управления в дефицитных, аварийных и послеаварийных условиях работы применением математического описания систем установившихся состояний электрической системы, которые учитывают поведение и настройку систем автоматического регулирования и управления, ограничение электропотребления, снижение частоты и напряжения.

Постановка задачи комплексного многоэтапного иерархического адаптивного обеспечения оптимальной управляемости функционирования происходит с учетом случайных аварийных возмущений, с помощью управления планом ремонтов оборудования, запасами энергоресурсов, предельно-допустимыми значениями параметров режима с точки зрения обеспечения надежности и качества работы.

14. НЕБАЛАНСЫ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Возникающий в системе небаланс мощности может быть описан уравнением:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^k Tj_i (d\omega_i / dt) = \sum_{i=1}^k P_{Гi} - \sum_{j=1}^n P_{Hj} - \Delta P_{\Sigma}, \quad (3.1)$$

где Tj_i – механическая постоянная инерции ротора i -го генератора; $P_{Гi}$, P_{Hj} – соответственно мощности, выдаваемая в сеть i -м генератором и предшествующем возникновению дефицита режима; ΔP_{Σ} – суммарные потери активной мощности в сети. Возникшие небалансы мощностей на валах машин вызывают в последующем их абсолютное и взаимное движение, т.е. изменение скоростей вращения роторов и их взаимных углов, изменение уровня статической устойчивости. Величина небаланса зависит как от мощностей генераторов и нагрузок

в сети, так и от величины потерь активной мощности, влияющих на величину небаланса. При приближении режима к пределу по устойчивости потери в сети возрастают, увеличивая небаланс. В некоторых потери в сети могут увеличиваться в связи с перераспределением реактивных мощностей при сохранении баланса активных. Тогда при управлении установившимися режимами такая информация может быть достаточно важной и широко применяться.

Организация послеаварийного режима зачастую требует введения некоторых управляющих воздействий, особенно в случаях работы противоаварийной автоматики. Изменение схемы соединения сети, отключения части нагрузочных или генерирующих мощностей требует принятия мер по сохранению статической устойчивости и предотвращению возможного каскадного развития аварии. С другой стороны при нормальном функционировании и в послеаварийных режимах может возникнуть необходимость в работе с пониженными запасами по активной мощности и напряжению. Определение допустимости функционирования электрических систем в таких режимах необходимо. Здесь малое отклонение от полученной границы в связи со случайным изменением режима не приведет к выходу за границу ОСП, а только приблизит к ней, но скорость «сползания» к пределу здесь еще невелика.

При управлении режимами ЭЭС возникает необходимость и в определении уровней напряжения для режима и регулировании реактивной мощности для обеспечения их приемлемого уровня. Принятие решения о вводе режима в допустимую область часто приходится принимать в условиях дефицита по времени, также как и решение о дозировке управляющих воздействий в ЭЭС. Поэтому необходимы предварительные оценочные расчеты, требующие небольшого времени на их реализацию. Зачастую при выборе оптимальных управляющих воздействий достаточным является анализ режима на первой итерации с последующим расчетом до конца только одного или двух режимов, необходимых для анализа послеаварийной ситуации.

15. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЭС

В объединенных энергосистемах в основу ведения режима по активной мощности положен принцип отдельного регулирования плановых и внеплановых изменений нагрузки. Причем к регулированию внеплановых изменений активных нагрузок привлекается ограниченное число электростанций с регулировочным диапазоном, равным 5 – 7 % мощности соответствующего энергообъединения. Плановые изменения задаются каждой электростанции в виде оптимальных суточных графиков мощности, реализуемых автоматически (через системы группового регулирования активной мощности ГЭС и системы автоматического регулирования частоты и мощности блочных ТЭС) или вручную (по каналам дежурного персонала энергосистем). Суточные графики нагрузок реализуются в современных ГРАМ на ЭВМ.

Внеплановые изменения нагрузки ГЭС можно разложить на две составляющие: $P_{АРЧМ}$ – соответствующую сигналу регулирования САРЧМ согласно экономически выгодному распределению перетоков мощности среди регулирующих станций в ОЭС; P_f – определяемую величиной отклонения частоты ОЭС от заданной, а также установленного на ГЭС статизма регулирования по частоте.

К числу возможных режимов работы гидравлических станций относится и режим, характеризующийся появлением внезапных небалансов активной мощности (сброс, наброс нагрузки). Результатом первичного небаланса является длительный переходный процесс, продолжающийся до 100 с. и более. Такой временной интервал достаточен для эффективного демпфирования качаний мощности гидроагрегатами ГЭС. При неудачном выборе настроечных параметров системы ГРАМ возможны нарушения устойчивости послеаварийных режимов.

16. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕЙСКОЙ ГЭС

Причиной возникновения тяжелых или аварийных ситуаций, приводящих к нарушению эффективного функционирования ЭЭС, может быть либо несоответствие режимов и ОДР, либо несовпадение возникшего и расчетного возмущений. Для оперативного управления в ЭЭС необходимо знать причины и механизмы уже имевших место нарушений устойчивости, наиболее характерных видов возмущения, т.е. анализ повреждаемости элементов ЭЭС и статистические данные о нарушении устойчивости, надежности, экономичности режимов. Это позволяет сократить количество необходимых для принятия решения расчетов, выявить элементы сети, сильнее всего реагирующие на возмущение, определить чаще всего возникающие аварийные или нештатные ситуации, требующие подробного анализа, сформировать оптимальное управляющее воздействие и выявить места наиболее целесообразного его приложения. Следует отметить, что анализ устойчивости необходим при решении задач оценки надежности и экономичности, нецелесообразно определять устойчивость заведомо ненадежного или неэкономичного режима, а экономичный режим должен находиться внутри области режимов, допустимых с позиций устойчивости и надежности. Тогда комплексная задача управления установившимися режимами должна решаться внутри ОДР, определяемых с позиций устойчивости, надежности, экономичности, существования решения и достаточных по величине запасов. Предварительный анализ статистических данных о различных аспектах функционирования ЭЭС позволяет сократить объем решаемой задачи.

Можно предложить следующую методику расчетов. Для начала выбирается наиболее «тяжелый» для рассматриваемого сечения (отдельной ЛЭП) вид утяжеления, приводящий к наименьшим предельным значениям мощности. Затем проводятся расчеты в наиболее характерных схемах функционирования ЭЭС (нормальных и ремонтных). Проводится сопоставление полученных коэффициентов запаса, анализируются полученные при этом уровни напряжения. Делается вывод о допустимости работы в таких режимах. Далее для наиболее характерных и расчетных видов аварий проводятся расчеты динамической ус-

тойчивости, выбираются достаточные для сохранения управляющие воздействия и составляется таблица уставок. Все расчеты проводятся с учетом КПП. Если ситуация сильно отличается от расчетной, то на втором уровне управления проводится коррекция управляющего воздействия.

17. УПРАВЛЕНИЕ КАК ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Разделение на множество хозяйствующих субъектов в энергетике исключает директивные централизованные методы управления. Это является одной из причин сегодняшних проблем в обеспечении управляемости электроэнергетических систем (ЭЭС). Переход на экономические отношения между субъектами энергетического рынка потребует установления экономических отношений в области управления режимами работы ЭЭС.

В настоящее время в электроэнергетике произошла смена форм собственности, а принципы управления и взаимодействия между субъектами в основном сохранили прежний порядок. С одной стороны, это положительная тенденция, позволяющая сохранить в переходный период реформирования целостность электроэнергетической системы, но, с другой стороны, возникают противоречия, в том, что субъекты вынуждены обеспечивать свойства целостности системы в ущерб собственным экономическим интересам.

Укрупнение и усложнение электроэнергетических систем и их объединений сопровождается дальнейшим развитием задач оперативно-диспетчерского управления, использующих математические методы современной теории управления и позволяющих в режиме реального времени судить об экономичном режиме работы. Поэтому весьма актуальным в современных условиях является оценка границы зоны режимов, допустимых одновременно по соображениям устойчивости, управляемости и экономичности.

18. ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ

Для успешного решения задач оперативно-диспетчерского управления диспетчер должен располагать необходимой, достаточно достоверной информацией, поэтому необходим анализ изменения параметров в режиме реального времени. Система передачи информации должна обеспечивать передачу достоверной информации о реальном текущем состоянии системы и выдавать диспетчеру эти данные в таком виде, чтобы он был в состоянии быстро и точно реагировать на отклонения режима от нормы и корректировать его.

Для первичной обработки информации предлагается использовать усреднение данных. На основании измеренных величин выработки активной и реактивной мощности в определенные моменты времени формируется таблица исходных данных, в которой строки соответствуют дням месяца, а столбцы соответствуют моментам времени, в которые производились измерения (каждые полчаса).

Усреднение производится по столбцам по формуле:

$$P_j = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ij}}{n} \quad (3.2)$$

где i, j – соответственно номера строки и столбца таблицы исходных данных; P_{ij} – величины выработки активной мощности в i момент времени и j день месяца; n - количество дней в данном месяце.

В результате получаем векторы, содержащие средние значения выработки активной мощности в каждом анализируемом интервале времени суток, например, получасовые или часовые замеры.

Задачи управления электрическими режимами требуют достаточного быстрого действия при их решении. При необходимости работы с замерами в наблюдаемой или частично наблюдаемой энергосистеме при использовании комплекса оценивания состояния энергосистем в реальном времени возможно получение значений всех интересующих контролируемых параметров режима, а также значений потерь в сети, например, с помощью ПВК "ОЦЕНКА". Этот комплекс позволяет проводить оценивание состояния в темпе поступления те-

леизмерений 1 раз в 30 секунд. Здесь в результате достоверизации информации получается достаточно надежная и качественная информация для использования при решении задач анализа и планирования режимов работы ЭЭС, расчетах надежности.

19. ДИСПЕТЧЕРСКИЕ ТРЕНАЖЕРЫ

Важную роль в подготовке персонала энергетических объектов, повышении и поддержке уровня его профессионального мастерства играют тренажеры, позволяющие с той или иной степенью полноты воспроизвести обстановку работы на данном объекте. В связи с этим рассматриваются тренажеры двух видов: тренажеры, позволяющие приобрести и совершенствовать навыки проведения оперативных переключений, и компьютерные тренажеры, позволяющие отрабатывать навыки оценки складывающейся в системе схемно-режимной ситуации и рационально выбирать объем управляющего воздействия.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

На практических занятиях выполняются расчеты устойчивости, выбор способов воздействия на элементы и режимы ЭЭС, способов управления в аварийных ситуациях.

№ темы	Тема занятия	Число Часов
1.	Исследование устойчивости работы регулируемого генератора, работающего на ШБМ	2
2.	Определение динамической устойчивости системы с учетом АРВ и АПВ численными методами	2
3.	Оценка устойчивости ЭЭС после отключения части генераторов или их импульсной разгрузке.	2
4.	Исследование эффективности различных способов противоаварийного управления режимами ЭЭС	2

5.	Определение устойчивости послеаварийного режима с использованием упрощенного алгоритма расчета.	2
6.	Исследование устойчивости нагрузки по практическим критериям устойчивости, влияния компенсации реактивной мощности нагрузки на устойчивость нагрузки системы	2
7.	Выбор оптимального управляющего воздействия	3

Для проведения практических занятий рассматриваются простейшие схемы сети, для которых формируются и решаются задачи расчета установившегося и переходного режимов, расчета критериев устойчивости, оценки устойчивости. Практические занятия по дисциплине «Электромеханические переходные процессы (часть 2)» удобнее всего проводить в компьютерном классе. Использование студентами программных продуктов Excel, Matcad позволяют прививать студентам навыки решения поставленных задач и использования программных продуктов. Необходимые для проведения практических занятий методы, формулы и алгоритмы решения поставленных задач с использованием Excel приведены в [4] основного списка, а с использованием Matcad в [2,3] основного списка литературы.

План проведения практических занятий

Практические занятия по дисциплине «Электромеханические переходные процессы (часть 2)» проводятся в компьютерном классе с использованием программных продуктов Excel, Matcad. Рассматривается заданная схема сети, записываются необходимые для решения поставленной задачи уравнения, решение которых осуществляется с использованием компьютера. После получения решения результаты проверяются подстановкой в уравнения, оценивается осуществимость полученного решения, его физическая обоснованность, делаются необходимые выводы. Решение задачи расчета и анализа режимов дает возможность их сопоставления, выбора наиболее приемлемого.

Пример расчета для практического занятия

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Αίτιας αείλας-αίηέ εφείε-εάηδ ε αείδ οίδααεϋρúääî âîçääéηδâεϋ

Генератор:

$$X_d := 2.46 \quad X_q := 2.46 \quad X'_d := 0.24 \quad X_2 := 0.17 \quad T_J := 6 \quad T_e := 0.15 \quad T_{d0} := 10.4$$

$$S_a := 37.5 \text{ MVA}$$

Трансформаторы:

Линия:

$$S_{\delta 1} := 40 \text{ MVA} \quad U_{k1} := 10.5 \quad l := 30 \text{ km} \quad U_{\text{н.д.л}} := 110 \text{ kV}$$

$$S_{\delta 2} := 25 \text{ MVA} \quad U_{k2} := 10.5$$

Нагрузка:

$$P_1 := 40 \text{ MW}$$

$$\phi_1 := \arccos(0.81) \quad \frac{\phi_1}{\text{deg}} = 35.904 \quad \cos(\phi_1) = 0.81 \quad Q_1 := P_1 \cdot \tan(\phi_1) \quad Q_1 = 28.96 \text{ Mvar}$$

Скольжение: $S_0 := 0.035$

Расчёт в ое в приближённое приведение

$$S_a := 37.5 \text{ MVA}$$

$$S_a \cdot 0.8 = 30 \text{ MVA}$$

$$P_1 := \frac{P_1}{S_a}$$

$$P_1 = 1.067$$

$$Q_1 := \frac{Q_1}{S_a}$$

$$Q_1 = 0.772$$

$$X_{\delta 1} := \frac{U_{k1}}{100} \cdot \frac{S_a}{S_{\delta 1}}$$

$$X_{\delta 1} = 0.098$$

$$X_{\delta 2} := \frac{U_{k2}}{100} \cdot \frac{S_a}{S_{\delta 2}}$$

$$X_{\delta 2} = 0.158$$

$$X_e := 0.4 \cdot \frac{l}{\text{km}} \cdot \frac{S_a}{U_{\text{н.д.л}}^2}$$

$$X_e = 0.037$$

$$X_N := X_{\delta 1} + \frac{X_e}{2} + \frac{X_{\delta 2}}{2}$$

$$X_N = 0.196$$



Πρώτη ύλη

$$X_{I,\delta} := X'_d + X_{\delta 1} + \frac{X_{\epsilon}}{2} + \frac{X_{\delta 2}}{2} \quad X_{I,\delta} = 0.436$$

$$U_i := 1$$

$$P_{mI} := \frac{E'_q \cdot U_i}{X_{I,\delta}} \quad P_{mI} = 2.973$$

Δεύτερη ύλη

$$P_{\Delta D} := 0.15 \cdot P_i \quad P_{\Delta D} = 0.16$$

Τρίτη ύλη

$$X_{III,\alpha\alpha} := X'_d + X_{\delta 1} + X_{\epsilon} + \frac{X_{\delta 2}}{2} \quad X_{III,\alpha\alpha} = 0.454$$

$$P_{mIII} := \frac{E'_q \cdot U_i}{X_{III,\alpha\alpha}} \quad P_{mIII} = 2.852$$

Επίπεδο άγχος

$$\delta_{\epsilon\delta} := \pi - \arcsin\left(\frac{P_i}{P_{mIII}}\right) \quad \frac{\delta_{\epsilon\delta}}{\text{deg}} = 158.034$$

4. ΛΑΒΟΡΑΤΟΡΝΕΣ ΡΑΒΟΤΕΣ

Λαβoρaτορνεσ ραβοτeσ νε προδυσμoτρενεσ.

5. ΣΑΜΟΣΤΟYΤΕΛΕΝΑ ΡΑΒΟΤΑ ΣΤΥΔΕΝΤΩΝ

5.1 Μεθοδνεκεσ ρεκομεναδνεεσ πο υπολνεννεο σaμoστοyτελενεσ ραβοτeσ

Μεθοδνεκεσ μaτeρνεαλεσ πο σaμoστοyτελενεσ ραβοτeσ νζλονενεσ υ ουοεβ-νομ ποσoβνεε οεμβορνεσoυoυ Ν.Σ., Πeσκουα Α.Υ., Δοροσeνεκο Ε.Ι. Υπολνεννεο ρεονεμaνεσ eλεκτροενεργετνεκεσ σνεσθεμ Βλαουεσσενεσκ, ΑμΓΥ, 2006.

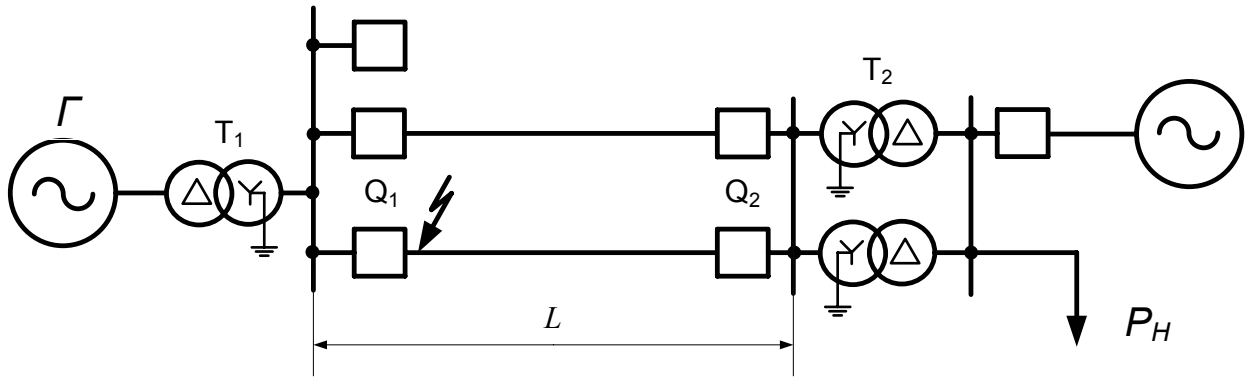
5.2 Μεθοδνεκεσ υκαζaνεεσ πο υπολνεννεο κυρσουoυ ραβοτeσ

Υ κυρσουoυ ραβοτeσ υ οοουτεστυνεεσ σ ζαδaνεεμ υπολνεννεοσ ρασοετ νζ αναλνεεσ ποσλεαυαρνεεσ ρeονεμωσ σνεσθεμ, υβορ τρεβουεμoυ σποσoυ υοδνεεστυνεεσ πο ραρυσνεεσ υοστοyονεεσ, ρασοετ oπτομaλνεεσ μeσ πορνεοοεσ υπολνεννεοσ υπολνεννεοσ υοδνεεστυνεεσ.

Ζαδaνεεσ κ κυρσουoυ ραβοτeσ: υ σοεμa, πορσοετaνεεσ υ κυρσουoυ ραβοτeσ πο δνεεσπνεεσνε "Ελεκτρομeοανεκεσ πορeοδνεεσ πορνεεσ (οαοτe 1)":

1. Определить "слабые" узлы,
2. Создать двухузловой эквивалент с учетом "слабых" узлов,
3. Оценить динамическую устойчивость к расчетной аварии
4. Выбрать оптимальные управляющие воздействия, позволяющие ввести режим в допустимую область,
5. Рассчитать послеаварийный режим в полной схеме методом Ньютона или методом Стотта,
6. Оценить статическую устойчивость послеаварийного режима по сходимости расчета, по полному или упрощенному якобиану,
7. Выбрать подходящий метод расчета для целей противоаварийного управления,
8. Провести расчет предельного режима по промышленной программе.

Расчетная схема электропередачи



Характеристики элементов электропередачи

Генератор								
Тип	S_n , МВА	X_d	X_q	X'_d	X_2	T_j , с	T_{d0} , с	T_e , с
ТГ	37,5	2,46	2,46	0,24	0,17	6	10,4	0,15
Трансформаторы								
Т1				Т2				
S_n , МВА	U_k , %	Группа соедин.		S_n , МВА	U_k , %	Группа соедин.		
40	10,5			2×25	10,5			
Нагрузка				Линия				
P_n , МВт	$\cos \varphi_n$	Скольжение, S_0		T_j , с	L , км	U_n , кВ		
40	0,81	0,035		2	30	110		

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ИСХОДНОГО РЕЖИМА И СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

При выполнении расчётов предполагается, что устройства АРВ безынерционны и обеспечивают отсутствие самораскачивания. Предел передаваемой мощности определяется максимумом статической угловой характеристики

мощности. Учёт действия устройств АРВ производится путём введения соответствующего $U_{\Gamma} = \text{const}$, приложенного за соответствующими сопротивлением.

По результатам вычислений выстраиваются характеристики нормального

P_{12}^I , аварийного P_{12}^{II} , послеаварийного P_{12}^{III} режимов.

Коэффициент запаса статической устойчивости по мощности определяется как

$$K_p = \frac{P_m - P_o}{P_m} \cdot 100\%;$$

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Исследования динамической устойчивости (ДУ) основываются на методах численного решения дифференциального уравнения относительного движения ротора генератора.

При выполнении упрощённых расчётов принимаются следующие основные допущения:

- мощность турбины считается неизменной в течении всего переходного режима, если нет управляющего воздействия, и изменяется по определенному закону, если оно есть;
- мощность, вырабатываемая генератором, считается изменяющейся мгновенно при изменении в схеме электропередачи в следствии КЗ или коммутации;
- аperiodические моменты, обусловленные потерями мощности, не учитываются.

С учётом указанных допущений, для простейшей схемы электропередачи, дифференциальное уравнение относительного движения ротора может быть записано в виде:

$$\frac{T_j \cdot d^2 \delta}{360 \cdot f_0 \cdot dt^2} = P_0 - P,$$

где T_j – постоянная инерции ротора генератора, (с);

t – время, (с);

$f_0 = 50$ Гц;

δ (эл. град);

$P_0 = P_H$ – мощность турбины.

Величина $a = \frac{d^2\delta}{dt^2}$ представляет собой ускорение рассматриваемого гене-

ратора, которое можно определить по методу последовательных интервалов.

Порядок расчёта по методу последовательных интервалов следующий:

1 Для начала переходного процесса по разности мощностей турбины и генератора $\Delta P_{(0)}$ находится изменение угла за первый расчётный интервал

$$\Delta\delta_{(1)} = \frac{1}{2} \cdot a_0 \cdot \Delta t^2 \cdot 360^\circ \cdot f,$$

где $a_0 = \frac{\Delta P_0}{T_j},$

$$\Delta P_0 = P_n - P_{ml} \cdot \sin \delta_0$$

Δt - интервал времени для расчёта (принят $\Delta t = 0,05$ с)

Определяется значение угла в конце первого интервала:

$$\delta_{(1)} = \delta_{(0)} + \Delta\delta_{(1)}$$

2 При новом значении угла $\delta_{(1)}$ вычисляется разность мощностей в начале второго интервала:

$$\Delta P_1 = P_n - P_{ml} \cdot \sin \delta_{(1)},$$

и определяется приращение угла за второй интервал времени:

$$\Delta\delta_{(2)} = \Delta\delta_{(1)} + a_0 \cdot \Delta t^2 \cdot 360^\circ \cdot f$$

3. Приращение угла во всех последующих интервалах определяется по формуле

$$\Delta\delta_{(i)} = \Delta\delta_{(i-1)} + a_{(i-1)} \cdot \Delta t^2.$$

При отключении выключателей, когда разность мощностей внезапно изменяется от ΔP_{12}^{II} до ΔP_{12}^{III} (от ΔP_{12}^{II} до ΔP_{12}^{II}), приращение угла в $n+1$ интервале определяется по выражению:

$$\Delta\delta_{(n+1)} = \Delta\delta_{(n)} + \frac{1}{2} \cdot (a_{(n)}^{II} + a_{(n)}^{III}) \cdot \Delta t^2.$$

По этому алгоритму расчёт продолжается либо до начала уменьшения угла δ , что свидетельствует о сохранении устойчивости, либо до предельного по условиям устойчивости угла $\delta_{кр}$.

Результаты расчёта записываются в таблицу.

3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЫБОРА УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЗАДАННОМ ВИДЕ АВРИИ

Цель данного раздела состоит в выборе управляющего воздействия в динамически неустойчивом режиме.

В послеаварийном режиме, при неуспешном АПВ, провести расчёт статической устойчивости и оценить коэффициенты запаса. Если коэффициент запаса меньше нормируемого ввести дополнительное управляющее воздействие для ввода режима в допустимую область.

Расчёт проводить методом P - δ декомпозиции.

Оценить знак и величину определителя упрощённой матрицы Якоби.

Так как управляющее воздействие выбирается для турбогенераторов, необходимо выбрать одно из двух воздействий импульсную разгрузку или отключение части генераторов.

При расчёте аварийного режима принимается следующие допущения: КЗ трёхфазное, его характеристика соответствует $0,15 \cdot P_0$.

РАСЧЕТЫ РЕЖИМОВ

Расчёт динамической устойчивости без управляющего воздействия

Расчёт ведём методом последовательных интервалов, алгоритм был приведен выше.

Для начала переходного процесса по разности мощностей турбины и генератора $\Delta P_{(0)}$ находится изменение угла за первый расчётный интервал

$$\Delta\delta_{(1)} = \frac{1}{2} \cdot a_0 \cdot \Delta t^2 \cdot 360^\circ \cdot f = \frac{1}{2} \cdot 0,151 \cdot 0,05^2 \cdot 360^\circ \cdot 50 = 3,4^\circ,$$

где $a_0 = \frac{\Delta P_0}{T_j} = \frac{0,907}{6} = 0,151,$

$$\Delta P_0 = P_n - P_{AP} = 1,067 - 0,16 = 0,907$$

Δt - интервал времени для расчёта (принят $\Delta t = 0,05$ с)

Определяется значение угла в конце первого интервала:

$$\delta_{(1)} = \delta_{(0)} + \Delta\delta_{(1)} = 42,877 + 3,4 = 46,277$$

При новом значении угла $\delta_{(1)}$ вычисляется разность мощностей в начале второго интервала, но так как аварийная характеристика имеет форму прямой, то расчёт ведётся по формуле:

$$\Delta P_1 = P_n - P_{AP} = 1,067 - 0,16 = 0,907,$$

Результаты расчётов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчёт устойчивости при трёхфазном КЗ

T, с	δ, град.	ΔP, о.е.	Δδ, град
0	21.023	0.907	3,4
0,05	24.423	0.907	10,2
0,1	34.623	0.907	17
0,15	51.623	0.907	23,8
0,2	75.423	0,907	30,6
0,25	106.023	0,907	27,722
		-1,674	
0,3	133.745	-0,993	20,271

0,35	154,016	-0,183	22,986
		0,907	
0,4	177,002	0,907	22,986
0,45	199,998	0,907	30,042
		2,041	
0,5	234,03	3,375	598,351

Графики зависимость угла от времени $\delta(t)$ представлен на рисунке 1

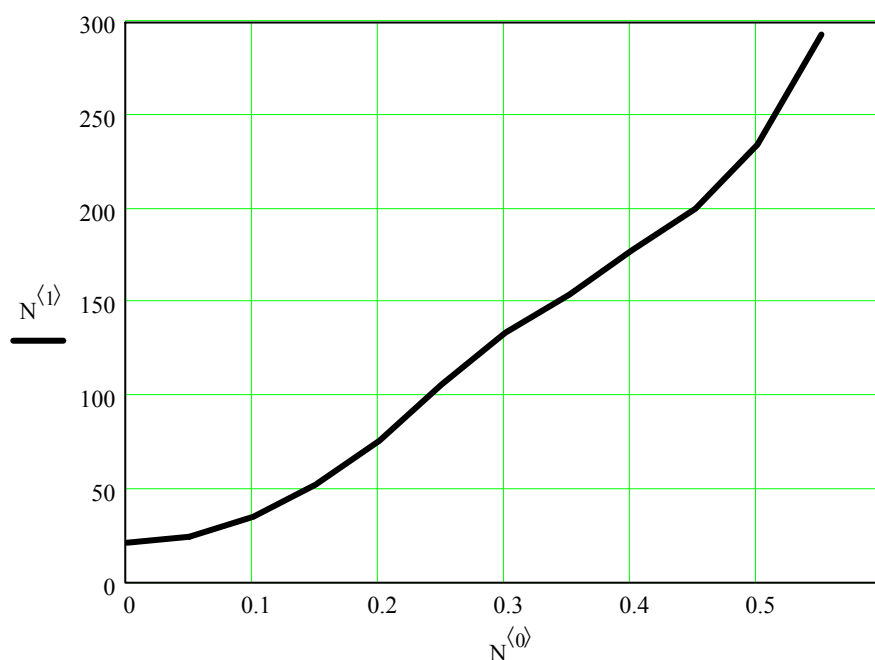


Рисунок 1 - Зависимость угла от времени $\delta(t)$

Как видно из графика приведённого на рисунке 1 – динамическая устойчивость нарушается, следовательно необходимо организовать такое управляющее воздействие, которое позволит системе сохранить динамическую устойчивость.

Чтобы нагляднее убедиться в неустойчивости режима можно построить площадки ускорения и торможения на рис.2.

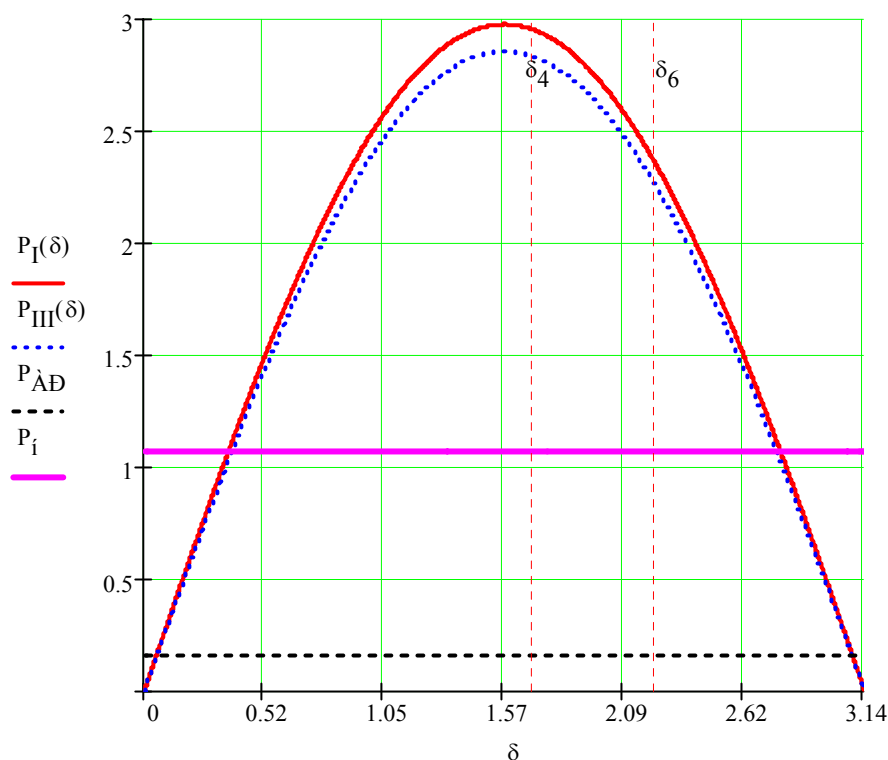


Рисунок 2 – Режим аварии без управляющего воздействия

Выбор управляющего воздействия

Сущность способов воздействий на ЭЭС для сохранения ее ДУ состоит в изменении баланса мощности в рассматриваемой системе и перераспределении небалансов моментов для ограничения амплитуд взаимных качаний роторов, что способствует установлению нового установившегося режима. Виды воздействий, как правило, выбираются в зависимости от типа генератора – турбо- или гидрогенератор.

Рассматривается применение на турбогенераторах импульсной разгрузки.

Импульсная разгрузка заключается в непосредственном изменении механической мощности турбины с последующим восстановлением мощности до сниженного значения, при котором обеспечивается необходимый запас по статической устойчивости в послеаварийном режиме.

Сигнал управления подается к системе регулирования в виде прямоугольного импульса с амплитудой A_n длительностью T_n и плавным экспоненциальным спадом с постоянной времени τ . Дозировка интенсивности импульсно-

го воздействия производится по результатам анализа переходных процессов с учётом экспериментально полученных импульсных диаграмм (зависимости глубины разгрузки турбин от параметров импульса), с учётом предшествующего режима и тяжести аварии. Верхний предел интенсивности импульсного воздействия определяется условиями предотвращения переторможения.

Обычно импульсная разгрузка применяется для паровых турбин, в связи с экономической целесообразностью по сравнению с отключением генераторов, поэтому она часто называется аварийным управлением мощности паровых турбин (АУМПП). Основным преимуществом применения импульсной разгрузки турбин является сохранение энергоблоков в работе и устранение недостатков, связанных с отключением генераторов.

Для оценки воздействия импульсной разгрузки на систему при заданном виде аварии, рассчитаем методом последовательных интервалов этот же аварийный режим, но уже с учётом импульсной разгрузки.

Алгоритм расчёта остаётся тот же.

Результаты сведены в таблицу 2

Таблица 2 – Результаты расчёта устойчивости с отработанной импульсной разгрузкой

T, с	δ , град.	ΔP , о.е.	$\Delta \delta$, град
0	42.877	0,907	0
0,05	46.277	0,907	3.4
0,1	56.477	0,907	10.2
0,15	73.477	0,907	17
0,2	97.277	0,693	23.8
		-1,975	
0,25	116.27	-1,757	18.993
0,3	122.084	3,013	5.814
		0,437	
0,35	127.898	-1,717	5.814
0,4	133.711	0,32	5.813

		-1,581	
0,45	134.795	-1,576	1.084
0,5	124.061	-1,925	-10.733
0,55	98.89	-2,375	-25.171
	55.908		-42.982

Графическая зависимость угла от времени при обработке импульсной разгрузки представлена на рисунке 3.

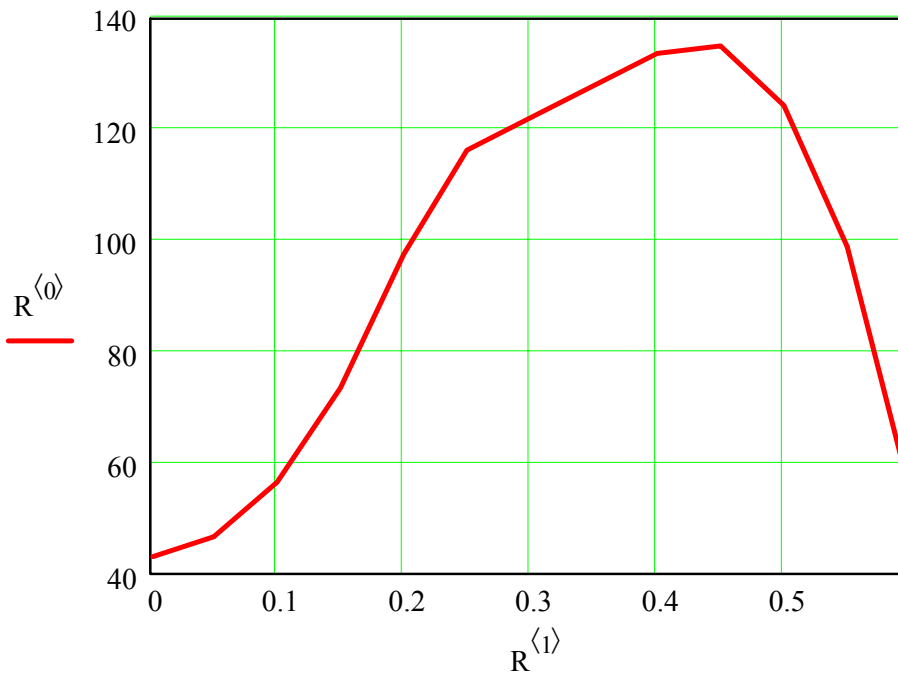


Рисунок 3 – Зависимость $\delta(t)$ при работе импульсной разгрузки

Исходя из результатов расчетов, можно сделать вывод, что при данном виде аварии для сохранения динамической устойчивости достаточно использовать импульсную разгрузку.

Для наглядного представления изменения площадок ускорения и торможения их можно отобразить на рис. 4.

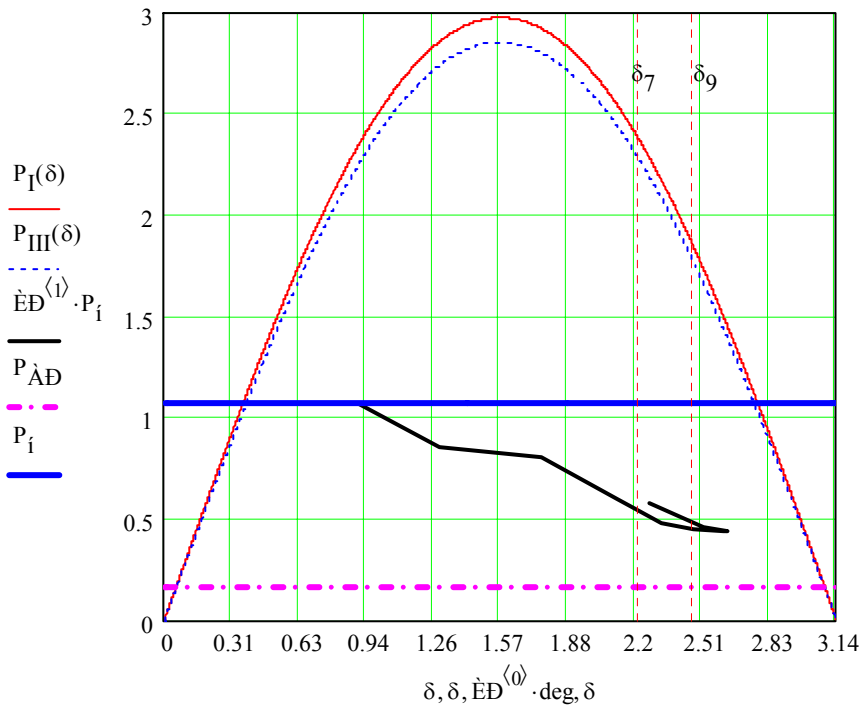


Рисунок 4 – Характеристика аварии при работе импульсной разгрузки

Расчёт статической устойчивости ПА режима

Вследствие ликвидации аварии в нашем случае происходит отключение одной из параллельных линий, связывающих генератор и систему. Послеаварийный режим считается устойчивым, если входит в область допустимых режимов. При попадании режима в такую область должно выполняться условие

$$J = \left| \frac{\partial W}{\partial X} \right| \neq 0$$

где J – определитель матрицы Якоби

Исследование СУ имеет целью определение параметров предельного режима и коэффициентов запаса. Для определения параметров предельного режима используют метод последовательного утяжеления исходного устойчивого установившегося режима. Запас СУ характеризуется коэффициентами запаса по активной мощности, передаваемой по сечению электрической сети ЭС, и коэффициентами запаса по напряжению в узлах нагрузки.

Коэффициент запаса СУ по активной мощности, передаваемой по линии электропередач (сечению) рассчитывается по формуле:

$$K_P = \frac{P_{пред} - P_0}{P_{пред}} = ,$$

где $P_{пред}$ - предельная передаваемая мощность в утяжеленном режиме, МВт;

P_0 - мощность нагрузки, МВт.

Значение коэффициента запаса по напряжению вычисляется:

$$K_U = \frac{U_{кр} - U_{ном}}{U_{ном}} = , \quad (82)$$

где $U_{кр}$ - критическое напряжение по условиям работы нагрузки

$U_{ном}$ - напряжение поддерживаемое на шинах нагрузки

Утяжеление производится с использованием ПБК SDO-6. По результатам расчёта рассчитываются коэффициенты запаса.

7. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины.

1. Презентации, слайды;
2. Схемы, таблицы, рисунки под медиапроектор;
3. Лазерные пленки к проектоскопу.

8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов (материалы по контролю качества образования)

В процессе изучения дисциплины предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- пятиминутный опрос студентов на каждой лекции;
- студенты, не посещающие лекционные и практические занятия, представляют рефераты по пропущенным темам.

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;
- выполнение рефератов с последующей их защитой;

- выступление с докладом.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ:

1. ЭЭС как объект противоаварийного управления. Задачи противоаварийного управления режимами ЭЭС.
2. Характер аварийных режимов в ЭЭС. Требования предъявляемые к режимам. Надежность. Живучесть ЭЭС. Переходные режимы ЭЭС. Качество переходного процесса.
3. Устойчивость установившегося режима ЭЭС. Виды устойчивости. Поведение системы на границе устойчивости. Методы оценки устойчивости в задачах энергетики.
4. Постановка задачи об анализе устойчивости ЭЭС. Устойчивость ЭЭС при малых возмущениях. Метод малых колебаний.
5. Анализ устойчивости ЭЭС по виду корней характеристического уравнения.
6. Оценка статической устойчивости ЭЭС по упрощенным критериям устойчивости.
7. Оценка качества переходных процессов в ЭЭС.
8. Устойчивость ЭЭС при больших возмущениях. Методы оценки устойчивости системы при больших возмущениях.
9. Способы воздействия на элементы ЭЭС в аварийных ситуациях. Сравнительная характеристика и эффективность способов.
10. Способы воздействия на ЭЭС для повышения уровня статической устойчивости. Нормирование уровня устойчивости электроэнергетической системы.
11. Способы воздействия на ЭЭС для сохранения динамической устойчивости ЭЭС. Средства противоаварийного управления, применяемые для сохранения устойчивости.

12. Последствия нарушения устойчивости ЭЭС. Асинхронный ход. Результирующая устойчивость. Способы сохранения результирующей устойчивости.
13. Переходные процессы в узлах нагрузки в электрических системах при малых и больших возмущениях.
14. Оптимальное управление переходными режимами ЭЭС. Критерии оптимального управления.
15. Оптимальное управление аварийными режимами ЭЭС как технико-экономическая задача.
16. Автоматические системы противоаварийного управления энергосистемой.
17. Иерархическая система противоаварийного управления режимами.
18. Диспетчерские тренажеры: виды, назначение.

9.1. Входной контроль

Для простейшей схемы генератор-шины провести расчет установившегося режима любым методом, при условии, что генерация и нагрузка заданы постоянными мощностями. Оценить статическую устойчивость.

9.2. Межсессионный контроль

В процессе изучения дисциплины «Электромеханические переходные процессы (часть 2)» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- экспресс-опрос лектора по итогам изучения разделов курса;
- выполнение КСР и контрольных работ по темам, рассмотренным на практических занятиях.

По курсовой работе контроль три раза в семестр по пунктам: 1, 2, 3 – первая контрольная точка; 4, 5 – вторая контрольная точка; 6, 7 – третья контрольная точка.

По практическим занятиям контроль три раза в семестр по пунктам: 1, 2 – первая контрольная точка, 3, 4, 5 – вторая контрольная точка, 6, 7 – третья контрольная точка.

9.3 Пример тестового задания по проверке остаточных знаний

Для простейшей схемы генератор – шины при к.з. и отключении одной из двух параллельных цепей показать алгоритмы расчета:

1. установившегося доаварийного режима,
2. установившегося послеаварийного режима,
3. переходного режима,
4. критериев устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Н.Ш.Чембориова, А.В.Пешков, Е.И.Дорошенко Управление режимами электроэнергетических систем Благовещенск, АмГУ, 2006.
2. Методы решения задач электроэнергетики с использованием ЭВМ. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Благовещенск: АмГУ, 2002.
3. Основы расчетов переходных режимов. Чемборисова Н.Ш. Благовещенск: АмГУ, 2002.
4. Алгоритмизация решения задач АСУ в электроэнергетике. Чемборисова Н.Ш., Пешков А.В. Благовещенск: АмГУ, 2006.
5. Чемборисова Н.Ш. Оценка допустимых режимов электроэнергетических систем. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 1998. – 93 с.
6. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике /Под общей ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. –648 с.
7. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов – М.: Изд-во «Мастерство»; Высшая школа, 2001. – 320 с.
8. Чемборисова Н.Ш., Гаврилов В.А., Пешков А.В. Управление переходными режимами электроэнергетических систем – Благовещенск: АмГУ, 1998.

Дополнительная

9. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.школа, 1985.
10. Электрические системы: Управление переходными режимами электроэнергетических систем./ Под ред. В.А. Веникова. М.: Высш. школа, 1989.
11. Противоаварийное управление ЭЭС./ Под ред. В.А. Савалова. М.: Энергоатомиздат, 1989.
12. Чебан В.М. и др. Управление режимами электроэнергетических систем в

аварийных ситуациях. М.: Высш. школа, 1990.

13. Куропаткин П.В. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высш.школа, 1980.
14. Гуревич Ю.Е. и др. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1990.
15. Кощев Л.А. Автоматическое противоаварийное управление в электро-энергетических системах. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
16. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979.

10. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.

Вид учебной нагрузки	ППС
Лекции	Чемборисова Н.Ш., проф., доктор. техн. наук
Экзамен	Чемборисова Н.Ш.
Практические занятия	Чемборисова Н.Ш.